



ECOLE SUPERIEURE
D'AGRICULTURE D'ANGERS



CENTRE DE COOPERATION
INTERNATIONALE EN RECHERCHE
AGRONOMIQUE POUR LE
DEVELOPPEMENT

Projet d'ingénieur agronome présenté par

Pauline DUBOIS

Pour l'obtention du diplôme d'agronomie approfondie

Spécialité Agriculture Ecologique et Innovations Agronomiques

Impact de la gestion de l'enherbement sur les auxiliaires Phytoseiidae dans les vergers d'agrumes en Guadeloupe



Stage effectué à la station du CIRAD de Vieux-Habitants,
Département HORTSYS
Février à août 2009

Maîtres de stage : Fabrice LE BELLEC, agronome
Julie MAILLOUX, agronome

Tuteur ESA : Guillaume PAIN, enseignant chercheur

Résumé

AUTEUR : DUBOIS Pauline

Promotion : 2004

PATRON DE MEMOIRE : Guillaume PAIN

Impact de la gestion de l'enherbement sur les auxiliaires Phytoseiidae dans les vergers d'agrumes en Guadeloupe

En Guadeloupe, les agrumes offrent une alternative intéressante à la culture de la canne et de la banane. Cependant, les producteurs rencontrent de nombreux problèmes phytosanitaires parmi lesquels les acariens phytophages (Acari : Eriophyidae et Tarsonemidae) qui endommagent les fruits. La lutte biologique par gestion et conservation des habitats a pour but de favoriser l'attraction et le maintien, au sein du verger, des acariens de la famille des Phytoseiidae, ennemis naturels des acariens phytophages.

Cette étude doit permettre d'acquérir des connaissances sur les Phytoseiidae en verger d'agrumes. Il s'agit notamment de montrer l'intérêt de l'enherbement inter-rang pour la conservation des Phytoseiidae, de déterminer quel type d'enherbement leur est le plus favorable et quel peut-être l'impact de sa gestion sur les populations de Phytoseiidae qu'il abrite. L'objectif est de vérifier que les tendances précédemment observées en station, se confirment en conditions réelles d'exploitation, dans des écologies différentes.

Trois modes de gestion de l'enherbement ont été testés : (1) Glyphostae, (2) enherbement naturel pérenne (3) implantation d'un couvert pérenne de *Neonotonia wightii* (Wight & Arn.). L'étude a été menée sur trois parcelles situées dans le Sud Basse-Terre de la Côte-sous-le-vent. Des feuilles ont été prélevées dans les fruitiers et des échantillons de la végétation de l'inter-rang ont été récoltés. Les Phytoseiidae étaient isolés de la végétation par la méthode de trempage-lavage puis identifiés jusqu'à l'espèce. Des tests statistiques de Mann-Whitney, ont été appliqués aux effectifs de Phytoseiidae de manière à évaluer l'impact du type d'enherbement sur les populations de Phytoseiidae (test sur les modalités), ou bien l'impact de la gestion de l'enherbement au cours du temps sur ces populations (test sur les dates de prélèvement). La diversité au sein de la population des Phytoseiidae a été abordée par le calcul d'un panel d'indices de diversité : Shannon, Simpson et Hill.

Les résultats confirment que l'implantation d'un enherbement inter-rang favorise l'abondance et la diversité des Phytoseiidae par rapport à un entretien en sol nu. Cela semble d'autant plus net que la végétation nécessite peu d'interventions et subit peu de perturbations. L'implantation d'un couvert de *Neonotonia* pérenne semble être la l'alternative la plus intéressante en termes d'abondance et de diversité des Phytoseiidae, par rapport à un enherbement naturel entretenu par fauche régulière. L'abondance des Phytoseiidae dans les *Citrus* semble dépendre davantage des pratiques culturales, l'irrigation notamment, que du mode de gestion de l'enherbement. La population des *Citrus* est relativement différente de celle de l'enherbement, toutefois cinq espèces ont été observées dans les deux compartiments. Parmi elle, une au moins, *Amblyseius tamatavensis* (Blommers) pourrait être utile pour réguler les acariens phytophages. *A. tamatavensis* a déjà était observée se nourrissant de *Polyphagotarsonemus latus* (Banks), un des acariens les plus problématiques en verger d'agrumes, en Guadeloupe

Mots clés : Production fruitière intégrée, Lutte biologique par gestion et conservation des habitats, Phytoseiidae, enherbement inter-rang, *Neonotonia wightii*, agrumes.

Summary

AUTHOR : DUBOIS Pauline
DIRECTOR : Guillaume PAIN

Promotion: 2004

In Guadeloupe, citrus are interesting as alternative crops to sugar can and banana. Nevertheless, citrus production faces major pest problems namely phytophagous mites (Acari: Eriophyidae and Tarsonemidae) that spoil citrus fruits. Conservation biological control is established in order to attract and develop Phytoseiidae mite populations in citrus orchards. Phytoseiidae mites are the most well-known natural enemies of citrus mites.

This study aims at gathering knowledge about Phytoseiidae mites in citrus groves but also at proving how beneficial cover-ground is for Phytoseiidae mites' conservation. It strives to determine which cover-ground is the most favourable one and what could be the impact of its management on Phytoseiidae mites' settlement. It deals with verifying whether tendencies observed in experimental plot are still valuable in field conditions and in different types of ecology.

Three modalities of cover-ground management were tested in field conditions: glyphosate application, resident vegetation and sowing of perennial *Neonotonia wightii*. The study was carried out in three citrus orchards situated on the Côte-sous-le-vent (Basse Terre, Guadeloupe). Samples were collected in citrus trees and ground cover vegetation from March to May 2009. Phytoseiidae mites were extracted from vegetation by deep and wash technique, then identified till species level. Statistical tests by Mann-Whitney were performed using mites' abundance for each modality. Species diversity inside Phytoseiidae mite's community was measured thanks to several diversity indexes: Shannon-Weaver, Simpson and Hill diversity indexes.

Results confirm that cover ground is more favourable to Phytoseiidae mites' abundance and diversity than bare ground management. It is all the more clear that cover ground does not suffer any disturbance. Inter-row ground cover by sowing *Neonotonia wightii* seems to be a more adequate management for Phytoseiidae mites than inter-row ground cover with resident vegetation as far as Phytoseiidae mites' abundance and diversity are concerned. Abundance and diversity of phytoseiid mites in citrus trees seem to be more dependent on cultural practices such as irrigation than on ground cover management. Phytoseiid mites on *Citrus* differ from those in ground cover vegetation. Nevertheless, five species were found in both compartments. Among these species, at least one of them (*Amblyseius tamatavensis* (Blommers)) could be useful to control phytophagous mites since it has already been observed feeding on *Polyphagotarsonemus latus* (Banks), one of the most problematic mites in citrus orchards in Guadeloupe.

Key-words: Integrated pest management, Conservation biological control, Phytoseiidae mites, ground cover, *Neonotonia wightii*, citrus orchards

Remerciements

Je ne remercierai jamais assez les deux producteurs qui, par leur confiance et leur coopération, m'ont permis de mener à bien cette étude. Je ne peux que saluer leur ouverture d'esprit et l'amour qu'ils ont pour leur métier.

Un grand merci à Fabrice Le Bellec, chef de la station, pour son accueil chaleureux, la confiance qu'il m'a accordée dans la réalisation de cette étude ainsi que pour son aide précieuse dans le suivi de mon travail.

Un grand merci également à Julie Mailloux, ingénieur agronome, pour l'encadrement dont j'ai bénéficié et pour m'avoir transmis ses connaissances sur les Phytoseiidae. Merci à elle de m'avoir si gentiment accueillie le jour de mon arrivée.

Je remercie chaleureusement Corinne Calabre, agronome, pour sa bonne humeur au quotidien, ses conseils pertinents et pour m'avoir fait découvrir la culture antillaise.

Merci également à Amélie Rajaud, VAT, pour son amitié, sa culture et sa fantaisie...

Je remercie aussi Serge Kreiter, de Sup'Agro Montpellier, de m'avoir proposé son aide dans l'identification des Phytoseiidae, en dépit de son emploi du temps surchargé.

Sans oublier les ouvriers de la station, Mano, Milo et Franck pour leur bonne humeur et leur accueil chaleureux....

Un grand merci à mon patron de mémoire, Guillaume Pain, pour m'avoir encadrée et conseillée depuis la métropole.

Sommaire

Remerciements

Liste des sigles et des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Contexte de l'étude

Introduction 1

Chapitre 1 : Enherbement inter-rangs des vergers d'agrumes et conservation des Phytoseiidae 4

A. Etat des lieux de l'agrumiculture guadeloupéenne 4

- 1) Place des agrumes dans l'agriculture guadeloupéenne..... 4
- 2) Enjeux de la filière agrume en Guadeloupe..... 4
- 3) Contraintes agronomiques et phytosanitaires 7
 - a) La gestion des adventices 7
 - b) Le contrôle des acariens phytophages 7

B. Conséquences des pratiques phytosanitaires et culturelles actuelles..... 9

- 1) Effet du désherbage total sur les sols et les eaux..... 9
 - a) Impacts sur le sol 9
 - b) Impacts sur les eaux..... 9
- 2) Conséquences de l'usage d'acaricides chimiques sur la faune auxiliaire..... 10
- 3) Effets non souhaités sur les acariens phytophages 10

C. Vers une agrumiculture guadeloupéenne plus respectueuse de l'environnement 12

- 1) Evaluation des alternatives à la lutte chimique dans le contexte guadeloupéen..... 12
 - a) La lutte raisonnée..... 12
 - b) La lutte intégrée..... 12
- 2) L'enherbement maîtrisé : alternative au désherbage total et intégration de la lutte biologique..... 12
 - a) L'enherbement spontané ou dit « naturel »..... 14
 - b) L'implantation d'une plante de couverture..... 14
 - c) Contribution de l'enherbement des inter-rangs à la lutte biologique 16

D. Phytoseiidae auxiliaires et lutte par gestion et conservation des habitats..... 16

- 1) Phytoseiidae, des candidats idéaux pour la lutte biologique contre les acariens phytophages 16
- 2) Besoins des Phytoseiidae et apports du couvert végétal..... 18
 - a) Besoins des Phytoseiidae, interactions avec le couvert 18
 - b) Fondement du choix de la plante de service 20
 - c) Pratiques de gestion de l'enherbement défavorables aux Phytoseiidae 22
- 3) Expérimentation en station 22

Chapitre 2. Protocole d'évaluation quantitative et qualitative des Phytoseiidae au verger . 25

A. Etat des lieux des sites expérimentaux 25

- 1) Description des parcelles chez les exploitants..... 25
- 2) Les modalités de gestion de l'enherbement..... 25

B. Protocole de prélèvements des Phytoseiidae et traitement des prélèvements 27

- 1) Description du matériel végétal et de la méthode de prélèvement 27
 - a) Prélèvements dans les arbres 27
 - b) Prélèvements dans le couvert végétal de l'inter-rang 27
 - c) Organisation des prélèvements 27
- 2) Traitement des prélèvements en laboratoire 28
 - a) Tri des Phytoseiidae..... 28
 - b) Montage entre lame et lamelle..... 28
 - c) Identification des Phytoseiidae 28

C. Analyse et traitement statistique.....	29
1) Rappel des objectifs	29
2) Le choix du test statistique	29
3) Les indices de diversité spécifique	30
Chapitre 3. Résultats	34
A. Les Phytoseiidae des vergers d'agrumes.....	34
B. Le peuplement du compartiment enherbement inter-rang	36
1) Abondance des Phytoseiidae dans l'inter-rang des vergers d'agrumes	36
a) Impact du type d'enherbement sur l'abondance des Phytoseiidae de l'inter-rang	36
b) Impact des opérations d'entretien de l'enherbement sur l'abondance des Phytoseiidae de l'inter-rang	40
2) Diversité des Phytoseiidae de l'inter-rang selon le type d'enherbement	43
a) Impact du type d'enherbement sur la diversité des Phytoseiidae de l'inter-rang.....	43
b) Impact des opérations d'entretien sur l'évolution de la diversité des Phytoseiidae de l'enherbement	45
C. Le peuplement du compartiment 'Citrus'	47
1) Abondance des Phytoseiidae dans les <i>Citrus</i>	47
a) Impact du type d'enherbement sur l'abondance des Phytoseiidae des <i>Citrus</i>	47
b) Evolution des effectifs de Phytoseiidae dans les <i>Citrus</i>	47
2) Diversité au sein des Phytoseiidae des <i>Citrus</i> selon le type d'enherbement.....	49
a) Impact du type d'enherbement sur la diversité des Phytoseiidae des <i>Citrus</i>	49
b) Evolution de la diversité spécifique au sein des Phytoseiidae des <i>Citrus</i>	51
D. Comparaison des peuplements des deux compartiments	53
Liste bibliographique.....	73
Table des annexes.....	79

Liste des sigles et des abréviations

AMPA : Acide aminoéthylphosphonique

Assofwi : Association des producteurs de fruits et de cristophines de Guadeloupe

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CNUCED : Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement

DéPhi : Développement et Evaluation des systèmes de Productions Horticoles intégrées en Guadeloupe

ENP : Enherbement Naturel Pérenne

ENM : Enherbement Naturel Maîtrisé

GREPP : Groupe Régional d'Etudes des Pollutions par les produits phytosanitaires

Hortsys : Système Horticole

INRA : Institut National de Recherche en Agronomie

ITK : Itinéraire Technique de Culture

GLY : Glyphosate

LP : Légumineuse Pérenne

LBCGH : Lutte Biologique par Conservation et Gestion des Habitats

OILB : Organisation Internationale de Lutte biologique

PFI : Production Fruitière Intégrée

PP : Produit Phytosanitaire

UR : Unité de Recherche

UMR : Unité Mixte de Recherche

Liste des figures

Figure 1: Répartition des surfaces cultivées en Guadeloupe en 2006.....	3
Figure 2: Recensement des parcelles plantées en agrumes, par commune	3
Figure 3: Régime des précipitations à Baillif (commune de la Côte-sous-le-vent)	6
Figure 4: Exemple d'implantation traditionnelle d'une parcelle d'agrumes (à gauche) et traces d'érosion	8
Figure 5: Avantages (en rouge) et inconvénients (en vert) de l'enherbement inter-rang en verger.....	11
Figure 6: <i>Neonotonia wightii</i> (Wight & Arn.) en couverture (à droite) et Glyphosate (à gauche)	13
Figure 7: Schéma comparatif des cycles de vie des Phytoseiidae et des acariens phytophages des agrumes	15
Figure 8: Influence du type trophique des Phytoseiidae sur leur efficacité en lutte biologique	17
Figure 9: <i>Iphiseiodes zuluagai</i> se réfugiant dans une domatie ouverte de <i>C.arabica</i>	17
Figure 10: Trichomes d'une feuille (à gauche) retenant la condensation (au centre) et le pollen (à droite)	19
Figure 11: Effets d'une réduction du couvert végétal de l'inter-rang sur les Phytoseiidae	21
Figure 12: Plan de l'expérimentation en station.....	21
Figure 13: Schéma du dispositif de prélèvement (exemple du verger 1).....	26
Figure 14 : Diagramme des facteurs autres que l'enherbement pouvant expliquer l'évolution du peuplement de Phytoseiidae au sein du verger.....	54

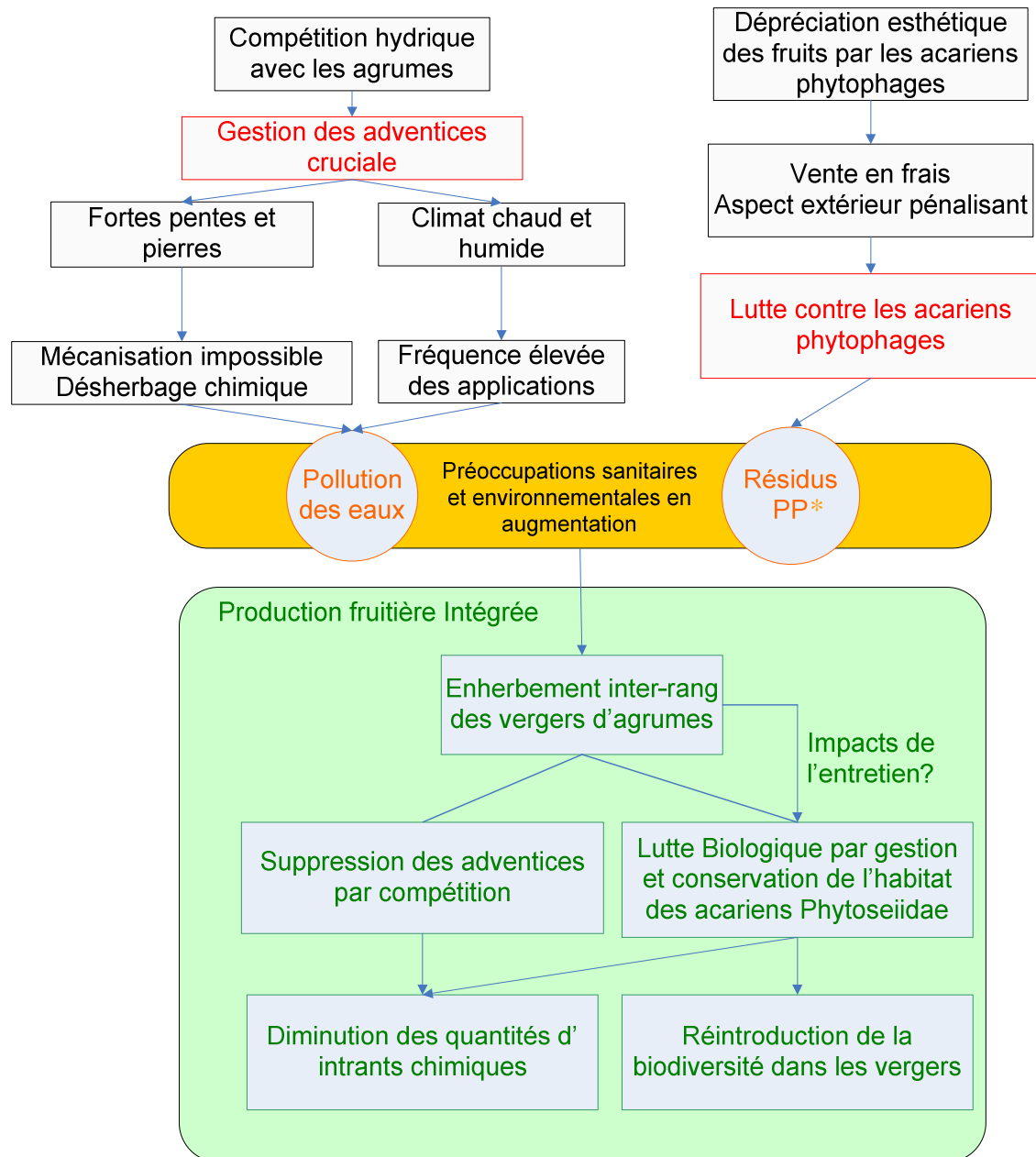
Liste des tableaux

Tableau 1: Acariens phytophages et dégâts sur agrumes	8
Tableau 2: Seuils de traitement établis pour les acariens phytophages des agrumes.....	11
Tableau 3: Exemple de couples ravageur(s)/auxiliaire(s) en agrumiculture.....	11
Tableau 4: Description des modalités d'enherbement testées	24
Tableau 5: Répartition des modalités par verger.....	24
Tableau 6: ITK des parcelles d'essai durant la période d'expérimentation	24
Tableau 7: Résultats du test de Kruskal-Wallis (à $p=0,05$) pour le verger 1	36
Tableau 8: p-values du test unilatéral de Mann-Whitney (à $p=0,05$) pour le verger 1	37
Tableau 9: Résultats du test bilatéral de Mann-Whitney pour le verger 2	37
Tableau 10: Résultats du test bilatéral de Mann-Whitney pour le verger 3	39
Tableau 11: Résultats du test unilatéral de Mann-Whitney (à $p=0,05$) pour le verger 3	39
Tableau 12: Résultats du test de Kruskal-Wallis (à $p=0,05$) comparant les effectifs de Phytoseiidae aux différentes dates de prélèvement dans le verger 1	40
Tableau 13: Résultats du test de Kruskal-Wallis (à $p=0,05$) comparant les effectifs de Phytoseiidae aux différentes dates de prélèvement dans le verger 2	41
Tableau 14: Résultats du test de Kruskal-Wallis (à $p=0,05$) comparant les effectifs de Phytoseiidae aux différentes dates de prélèvement dans le verger 3	41
Tableau 15: Synthèse des indices de diversité par modalité et par date de prélèvement dans le verger 1.....	42
Tableau 16: Synthèse des indices de diversité par modalité et par date de prélèvement dans le verger 3.....	44
Tableau 17: Effectif moyen et SE par modalité dans les <i>Citrus</i> du verger 2	46
Tableau 18: Résultats du test bilatéral de Mann-Whitney (à $p=0,05$) comparant les effectifs de Phytoseiidae dans les <i>Citrus</i> des différentes modalités d'enherbement du verger 2	47
Tableau 19: Résultats du test de Kruskal-Wallis (à $p=0,05$) comparant les effectifs de Phytoseiidae, dans les Citrus d'une modalité donnée, à différentes dates de prélèvement	47
Tableau 20: Indices de diversité pour les modalités ENP et GLY du verger 2 aux trois dates de prélèvement	49
Tableau 21: Synthèse des indices de diversité pour la population des Citrus en ENP, à différentes dates, dans le verger 2	51
Tableau 22 : Synthèse des indices de diversité pour la population des Citrus de la modalité GLY, à différentes dates, dans le verger 2	51

Liste des graphiques

Graphique 1: Abondance moyenne des Phytoseiidae de l'enherbement en fonction du mode de gestion et du verger	33
Graphique 2: Abondance moyenne des Phytoseiidae du feuillage des agrumes en fonction du mode de gestion de l'enherbement et du verger	33
Graphique 3: Effectifs moyens de Phytoseiidae prélevés par cadrat (30x30cm) dans les différentes modalités d'enherbement du verger 1 aux trois dates de prélèvement	35
Graphique 5: Effectifs moyens de Phytoseiidae prélevés par cadrat (30x30cm) dans les différentes modalités d'enherbement du verger 3 aux trois dates de prélèvement	38
Graphique 6: Abondance absolue de Phytoseiidae par espèce dans l'enherbement du verger 1	42
Graphique 7 : Abondance absolue par espèces pour les modalités LP et ENP du verger 1 le 23/03.....	42
Graphique 8 : Abondance absolue de Phytoseiidae par espèce dans l'enherbement du verger 3	44
Graphique 9 : Effectif moyen par espèces dans les <i>Citrus</i> du verger 2, en fonction du couvert végétal	46
Graphique 10 : Evolution du peuplement des <i>Citrus</i> du verger 2	48
Graphique 11 : Evolution de la diversité des Phytoseiidae dans les Citrus de la modalité ENP du verger 2	50
Graphique 12 : Evolution de la diversité des Phytoseiidae dans les <i>Citrus</i> de la modalité GLY du verger 2	50
Graphique 13 : Distribution des espèces de Phytoseiidae entre le compartiment "enherbement" et le compartiment " <i>Citrus</i> "	52
Graphique 14: Variations journalières de la température au sol selon le type de couverture végétale.....	68

Contexte de l'étude



*PP : Produit phytosanitaires

Cadre du stage

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un stage de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en agronomie approfondie, option « Agriculture écologique et Innovations agronomiques ». Il a été réalisé, de février à août 2009, à la station CIRAD (Centre de coopération internationale de recherche en agronomie pour le développement) de Vieux-Habitants, en Guadeloupe (France).

Le Cirad est un établissement semi-public placé sous la double tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère des Affaires étrangères et européennes. C'est un centre de coopération en recherche agronomique spécialisé dans les productions tropicales et méditerranéennes. Il comprend trois départements scientifiques: Systèmes biologiques (Bios), Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux (Persyst), Environnements et sociétés (ES).

Ce stage a eu lieu au sein de l'unité de recherche Hortsys (Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de cultures horticoles) affiliée au département Persyst. La contribution de l'unité de recherche Hortsys porte sur l'intégration de la biodiversité dans les systèmes de cultures tropicaux (agrumes et manguiers notamment). En 2007, elle a lancé le projet DéPhi (Développement et Evaluation des systèmes de Productions Horticoles intégrées en Guadeloupe), en partenariat avec l'Inra Antilles-Guyane (Institut National de Recherche Agronomique), l'Inra Nancy-Colmar, Sup'Agro Montpellier et l'Université Antilles-Guyane. Ce projet a pour objectif la conception, le développement et l'évaluation de systèmes de culture respectueux de l'environnement mais aussi la diffusion des connaissances et pratiques novatrices auprès des acteurs de la filière. La présente étude s'intègre au projet DéPhi.

L'équipe Déphi est une équipe constituée de dix membres, dont huit permanents. Dans un contexte de fusion des unités de recherche, visant à concentrer les moyens et les compétences, le faible effectif de la station la condamne à fusionner avec une station aux effectifs plus conséquents. Sa force réside dans la cohésion et l'organisation de son personnel, mais aussi dans l'adhésion des producteurs locaux à ses activités de recherche. Il est vrai que la présence dans l'enceinte de la station de l'association professionnelle Assofwi (Association des producteurs de fruits et de cristophines de Guadeloupe), ainsi que de l'organisme de formations (destinées aux agriculteurs) Wi-Phyto services, fournissent autant d'occasions de diffuser et brasser les connaissances et pratiques innovantes développées par l'unité. Cette proximité avec les producteurs locaux et l'établissement d'une relation de confiance et d'entraide (grâce à la permanence technique) permet la mise en place d'une démarche de conception participative, avec les producteurs, afin de proposer des alternatives innovantes adaptées aux réalités de la profession.

Cette étude porte sur les acariens prédateurs Phytoseiidae, utilisés comme auxiliaires de culture contre les acariens phytophages qui s'attaquent aux agrumes. L'efficacité des Phytoseiidae en tant qu'agent de lutte biologique contre les acariens phytophages est aujourd'hui reconnue (McMurtry et Croft, 1997). Les techniques de reproduction et les lâchers invasifs en serre sont relativement bien maîtrisés, mais les conditions favorables à leur maintien en verger d'agrumes, en conditions tropicales, sont mal connues.

L'objectif de l'étude est donc d'acquérir des connaissances sur les peuplements de Phytoseiidae en verger d'agrumes, d'évaluer les conditions favorables à ces acariens et de déterminer l'impact que peut avoir sur eux le mode de gestion de l'enherbement du verger.

Une étude similaire a été réalisée en 2009, en station, dans le cadre d'un volontariat. La présente expérimentation, multi-locale, vise à confirmer ou infirmer les tendances observées en station, dans des écologies différentes et en conditions réelles d'exploitation.

Pour cela le Cirad a mis à disposition une parcelle sur station, et deux parcelles ont été choisies chez des exploitants. Le choix des parcelles s'est opéré avant le recrutement du stagiaire, l'implantation du couvert datant de 2005 pour la première parcelle aménagée. Le laboratoire ainsi que le matériel nécessaire au tri et à l'identification des acariens (loupe binoculaire, microscope à contraste de phase...) ont été prêtés par le Cirad.

La formation pour l'identification des Phytoseiidae a été dispensée par Julie Mailloux, ingénieur agronome, membre de l'UR Hortsys, elle-même formée à cet exercice par le Dr. Serge Kreiter, spécialiste de la taxonomie et de l'écologie des Phytoseiidae et de leur utilisation en lutte biologique au sein du Centre de Biologie et de Gestion des Populations de Sup'Agro Montpellier

Introduction

En Guadeloupe, parmi les contraintes majeures auxquelles sont confrontés les agrumiculteurs figurent la gestion des adventices et la lutte contre les acariens ravageurs, notamment *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead) (Acari : Eriophyidae) et *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari : Tarsonemidae).

P. oleivora, *P. latus* et dans une moindre mesure les acariens de la famille Tetranychidae, provoquent des pertes économiques graves pour le producteur en dépréciant l'aspect extérieur des agrumes. Ils sont difficiles à observer et se développent très rapidement. La pratique courante de traitement phytosanitaire consiste en une application bisannuelle d'acaricide, à la nouaison, le stade phénologique le plus sensible aux attaques d'acariens phytophages.

La gestion des adventices est cruciale pour éviter la compétition hydrique avec les agrumes. Cependant, en Guadeloupe, les vergers sont traditionnellement implantés sur de fortes pentes (jusqu'à 50% parfois). De plus, les parcelles sont souvent très empierrées. La fauche mécanisée est la plupart du temps impossible. La solution la plus courante consiste en un désherbage total de la parcelle, au Glyphosate, quatre à cinq fois par an.

Alors que la conscience sanitaire et environnementale des consommateurs est de plus en plus aigüe ; ces pratiques nuisent à l'image de la production agrumicole guadeloupéenne.

Le défi consistait à concevoir des pratiques culturales à la fois plus respectueuses de l'environnement, bénéfiques pour la qualité sanitaire et gustative des fruits et répondant aux contraintes majeures de culture que sont la gestion des adventices et la lutte contre les acariens phytophages.

Une solution innovante réside dans l'enherbement des inter-rangs des vergers. La plante de service, implantée ou spontanée, exerce un pouvoir suppressif vis-à-vis des adventices. De plus, elle sert l'objectif de lutte biologique par gestion et conservation des habitats (LBGCH). Cette méthode a pour but d'optimiser l'efficacité des prédateurs naturels des ravageurs des cultures en leur fournissant refuges, sites de reproduction et d'oviposition, nourriture etc...

Les auxiliaires visés sont les acariens de la famille des Phytoseiidae. Ils constituent le groupe le plus important (le plus fréquent et le plus pérenne sur les plantes en général) et le plus efficace pour contrôler les acariens phytophages. Toutes les espèces de cette famille sont des prédateurs. La plupart sont des généralistes (environ 1900 espèces) qui se nourrissent d'autres acariens, d'insectes, de pollen, d'exsudats végétaux et de miellat. Ils peuvent être présents durablement dans le milieu agricole, tant qu'ils ne sont pas éliminés par les pratiques culturales.

Cette étude vise à mesurer l'impact de l'enherbement de l'inter-rang, sur l'abondance et la diversité de ces auxiliaires.

Cet apport de connaissances scientifiques profite également aux travaux de recherche menés par l'unité Hortsys sur les indicateurs environnementaux. Les Phytoseiidae réunissent toutes les qualités d'un bio-indicateur efficace. En effet, ils sont très sensibles aux variations du milieu et ils sont ubiquistes. Le frein le plus important à leur utilisation en tant que bio-

indicateurs réside dans la difficulté qu'il y a à les observer et les identifier. La confirmation du rôle des Phytoseiidae comme bio-indicateur pourrait notamment étayer la validation d'un indicateur Biodiversité, actuellement en cours d'élaboration. Cet indicateur aura pour but d'évaluer les impacts des pratiques culturales sur l'environnement.

Une lutte biologique, par gestion et conservation d'un couvert végétal en verger d'agrumes, intégrant l'utilisation des Phytoseiidae naturellement présents, est donc envisageable pour réguler les effectifs des populations d'acariens ravageurs. Mais dans quelle mesure l'entretien de l'enherbement inter-rang perturbe-t-il le peuplement des Phytoseiidae, sachant que leur abondance et les espèces présentes conditionnent, du moins en partie, l'efficacité de la lutte biologique ?

Les hypothèses suivantes ont été émises :

- (1) Les Phytoseiidae se localisent dans les deux compartiments 'enherbement' et '*Citrus*'
- (2) Leur abondance et leur diversité sont supérieures dans un milieu peu perturbé par rapport à un milieu fortement instable

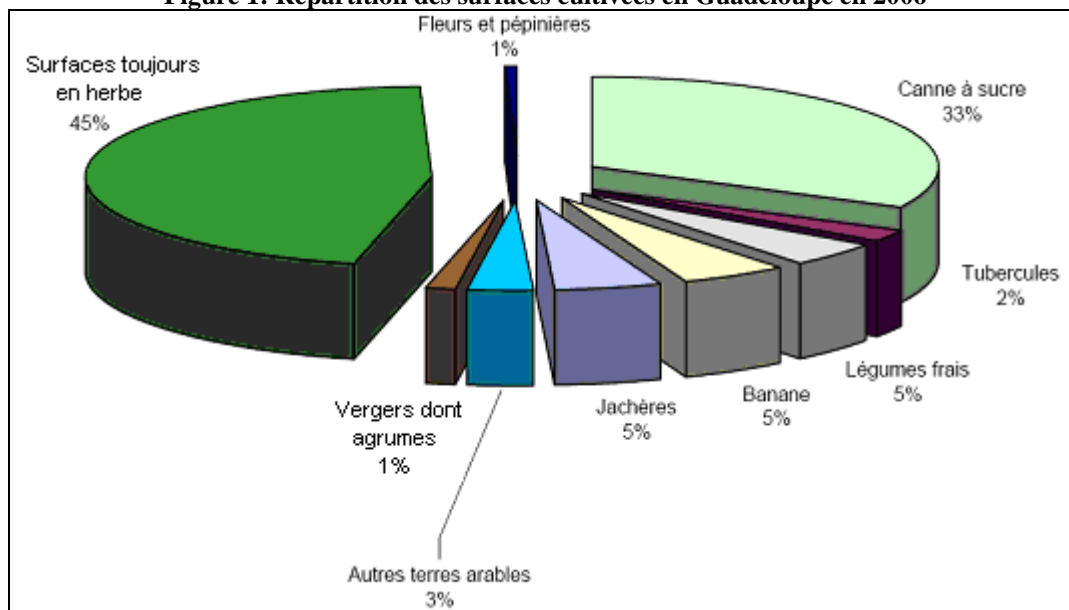
Dans le but d'infirmer ou de confirmer ces hypothèses de travail, la nature et la structure du peuplement des Phytoseiidae ont été étudiées séparément, dans deux compartiments bien distincts du verger : l'enherbement inter-rang et la canopée des agrumes.

1) Quel est l'impact d'un type d'enherbement et du mode de gestion associé sur l'abondance et la diversité des Phytoseiidae, dans l'enherbement inter-rang d'abord et dans la canopée des agrumes ensuite ?

2) Observe-t-on une stabilité dynamique ou, au contraire, le peuplement évolue-il dans le temps ? Dans ce cas cette évolution se traduit-elle par des remaniements quantitatifs (abondances) ou concerne-t-elle également des changements dans la biodiversité (apparition ou/et disparition d'espèces) ? Dans lequel des deux habitats à disposition des Phytoseiidae (enherbement et canopée) cette évolution est-elle la plus perceptible ?

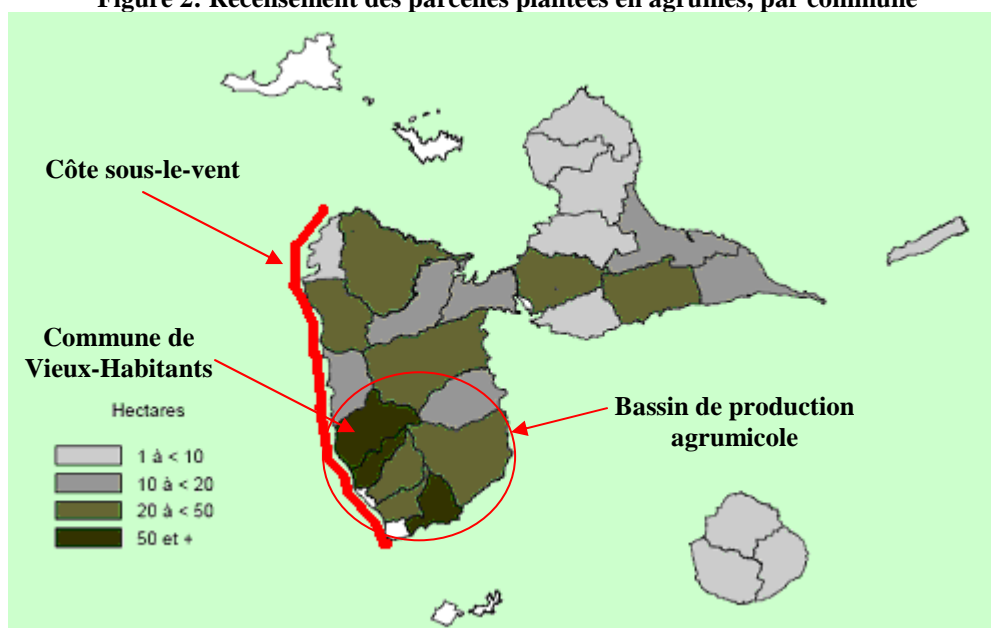
L'état de l'art a révélé des lacunes concernant la conservation des Phytoseiidae en vergers, en climat tropical. L'objectif premier de l'étude était l'acquisition de connaissances. Des prélèvements, de végétation inter-rang et de feuilles d'agrumes, ont été réalisés, chez l'exploitant. La phase la plus longue de cette étude a concerné l'identification des Phytoseiidae collectés. L'analyse des données a nécessité deux outils : le test statistique de Mann-Whitney (le plus adapté au jeu de données) et un panel d'indices de diversité.

Figure 1: Répartition des surfaces cultivées en Guadeloupe en 2006



(Agreste, 2007)

Figure 2: Recensement des parcelles plantées en agrumes, par commune



(Recensement agricole, 2000)

Chapitre 1 : Enherbement inter-rangs des vergers d'agrumes et conservation des Phytoseiidae

A. Etat des lieux de l'agrumiculture guadeloupéenne

1) Place des agrumes dans l'agriculture guadeloupéenne

Les principaux pays producteurs d'agrumes sont le Brésil (15 millions de tonnes), les Pays méditerranéens (Espagne, Maroc, Grèce, Turquie...), les Etats-Unis (9 Mt) et la Chine (4 Mt) (CNUCED, 2004), loin devant la Guadeloupe dont la production s'élève à 6230 tonnes (Agreste Guadeloupe, 2007). Les agrumes produits aux Brésil, aux Etats-Unis et en Chine sont majoritairement transformés en jus, les agrumes frais que l'on retrouve sur les étals européens proviennent des pays méditerranéens (CNUCED, 2004). La Guadeloupe n'exporte qu'un pour cent de sa production (Agreste 2007) et importe chaque année, à bas prix, quatre à cinq mille tonnes d'agrumes en provenance des îles voisines (Cuba, la Dominique...) où les coûts de productions sont moindres (service des douanes, 2004). Ces agrumes sont généralement de mauvaise qualité et dévalorise l'image du produit auprès des consommateurs guadeloupéens (com. pers. Le Bellec).

En Guadeloupe, bien que la surface occupée par les agrumes ait doublé entre 1985 et 2005 (Agreste 2007), la filière guadeloupéenne gagnerait à développer davantage la production afin d'être auto-suffisante en agrumes. Actuellement la production agrumicole reste loin derrière la banane (55 340 t produites en 2006) et la canne à sucre (787 290 t produites en 2006) (Agreste 2007). Elle représente toutefois une activité importante dans certaines zones de la Guadeloupe telle que le sud de la Côte-sous-le-vent (la côte occidentale) qui rassemble 75% des producteurs d'agrumes (DAF, 2005). C'est dans ce bassin de production agrumicole que la station de l'UR Hortsys a été implantée.

.

2) Enjeux de la filière agrume en Guadeloupe

Bien qu'elle demeure une culture minoritaire en Guadeloupe, le développement de la production agrumicole représente un réel enjeu. En premier lieu, elle constitue une alternative intéressante à la culture de la banane et de la canne qui, après six années de crise, commencent seulement à retrouver des niveaux de production moyens (Insee 2009). La sécurité économique, inhérente à la diversification des sources de revenus, encourage la poursuite de ce mouvement de diversification agricole.

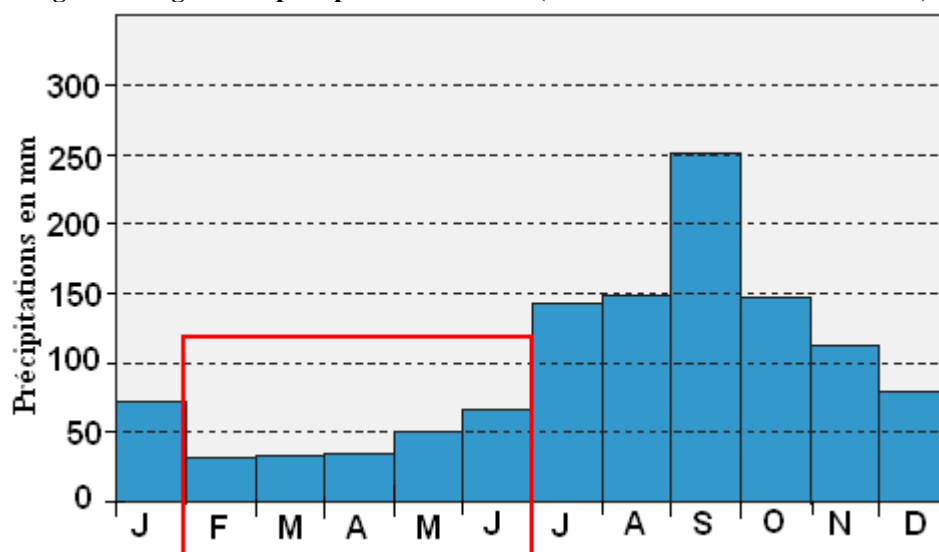
La reconversion en agrumes offre une perspective intéressante de valorisation des anciennes bananeraies dont le sol est contaminé par la chlordécone pour plusieurs centaines d'années. Ce pesticide organochloré a été utilisé dans les Antilles françaises jusqu'en 1993, contre les *Diaprepes spp.*, les charançons du bananier. Il est supposé être cancérigène et perturbateur endocrinien (INVS, 2005). Les terres polluées par la chlordécone, ne peuvent pas être reconverties en culture de tubercules et racines car ces produits stockent la molécule et contaminent à leur tour le consommateur. Seuls les légumes aériens et les fruits ne sont pas sensibles au transfert de pollution (INVS, 2005). D'après le Plan de Développement Régional de Guadeloupe, ce sont entre 4900 et 5200 ha qui sont concernés (PDR GUADELOUPE 2007-2013). La reconversion en vergers d'agrumes de ces anciennes bananeraies éviterait leur

déclassement lorsqu'elles sont situées en zone constructible. En effet, en territoire insulaire, la contrainte spatiale renforce la pression qu'exerce l'urbanisme sur les terres agricoles (Houdart *et al.*, 2009).

Afin de développer le marché local des agrumes et de résister à la concurrence des îles voisines, les producteurs guadeloupéens ont décidé de privilégier la qualité de leur produits, qualité organoleptique (le « sucré », le jus, la non acidité) et qualité sanitaire (absence de résidus de produits phytosanitaires) (com. pers. comité d'experts). La production fruitière intégrée, définie, en 1997, par l' OILB (Organisation Internationale pour la Lutte Biologique), comme étant : « un système de production économique de fruits de haute qualité donnant la priorité aux méthodes écologiquement plus sûres, minimisant les effets secondaires et l'utilisation de produits agrochimiques, afin d'améliorer la protection de l'environnement et la santé humaine » répond à cette exigence de qualité et de durabilité.

Cela suppose de revoir les systèmes de production, de mettre en œuvre des actions innovantes, mais en arboriculture fruitière, l'évolution ne peut être qu'être très progressive et nécessite préalablement de bien identifier et hiérarchiser les contraintes majeures à la production

Figure 3: Régime des précipitations à Baillif (commune de la Côte-sous-le-vent)



(Météo France Antilles-Guyane (moyennes des précipitations mensuelles de 1947 à 1996))

3) Contraintes agronomiques et phytosanitaires

a) La gestion des adventices

En Côte-sous-le-vent, l'eau constitue le principal facteur limitant la production, notamment durant la saison sèche (février à juin). Le recours à l'irrigation est fréquent, mais il ne suffit pas lorsque les adventices entrent en compétition avec les agrumes. Or le climat chaud et humide (25°C en moyenne, hygrométrie comprise entre 60 et 70%, d'après l'Atlas du Parc National de Guadeloupe) favorise la croissance des adventices. Les jeunes arbres, dont le système racinaire n'est pas complètement développé supportent mal la compétition.

La gestion des adventices est donc cruciale mais pose problème compte tenu du relief. En effet, d'après l'atlas du Parc National de Guadeloupe, la Côte Sous-le-Vent possède la topographie la plus accidentée de la Basse-Terre. La majorité des vergers de la Côte-sous-le-vent, sont implantés sur de fortes pentes, souvent supérieures à 40%, et généralement très empierrées (Atlas du Parc National de Guadeloupe). Dans ces conditions, la fauche mécanisée est impossible et le désherbage chimique reste la solution la plus pratique. Soixante dix pour cent des agriculteurs réalisent quatre à cinq applications de Glyphosate par an, sur la totalité de la surface de la parcelle. L'impact d'une telle pratique est loin d'être sans conséquence sur l'environnement (Damas, 2007).

b) Le contrôle des acariens phytophages

En agrumiculture, la difficulté en matière de protection phytosanitaire réside dans la pérennité de la culture. L'absence de rotations culturales ne permet pas de limiter l'impact des bioagresseurs par le retrait de la culture-hôte pendant une période suffisante pour briser le cycle biologique des ravageurs (Simon et al., 2009). De plus, le climat guadeloupéen, chaud et humide toute l'année, sans saison hivernale, est un facteur favorable au développement des ravageurs (INVS, 2005).

Parmi les ravageurs, Quilici (2003) fait la distinction entre ravageurs « qualitatifs » qui déprécient l'aspect du fruit (exemple des acariens phytophages), et les ravageurs « vitaux » qui menacent la vie des jeunes arbres, tels que les *Diaprepes spp.* (Coleoptera: Curculionidae) dont les larves telluriques s'attaquent au système racinaire et favorisent l'infestation par *Phytophthora sp.*

Bien que la menace émanant des ravageurs vitaux semble être la plus sérieuse, ce sont les acariens s'attaquant aux fruits que les agrumiculteurs guadeloupéens citent en tête des problèmes phytosanitaires (à égalité avec le complexe *Diaprepes/Phytophthora*) (Leblanc et Etienne, 1998). En effet, ce sont les ravageurs les moins bien maîtrisés. Ils sont difficiles à observer et se développent très rapidement. Ces acariens sont des « piqueurs-suceurs » qui percent la surface des cellules végétales des petits fruits, au début de la nouaison, et en aspirent le contenu. Les cellules vides donnent un aspect argenté aux fruits, ce qui nuit à leur aspect visuel. Un taux plus important d'abscission précoce des fruits peut être observé. Les attaques se produisent au début de la nouaison mais les symptômes n'apparaissent que lorsque le fruit grossit. Il est alors trop tard pour agir, les acariens ont déjà quitté les fruits abîmés pour en coloniser d'autres (Allen 1979, Gellatley 2003).

Tableau 1: Acariens phytophages et dégâts sur agrumes

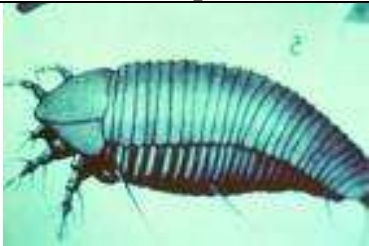





	Description	Dégâts
<p><i>Phyllocoptruta oleivora</i> (Ashmead) (Acari: Eryophyidae)</p>	 <p>(pikul.lib.ku.ac.th/insect/001.fr)</p>	 <p>(Caribfruits.cirad.fr)</p>
<p><i>Polyphagotarsonemus latus</i> (Banks) (Acari: Tarsonemidae)</p>	 <p>(Fasulo, 2000)</p>	 <p>(Caribfruits.cirad.fr)</p>
<p><i>Tetranychus urticae</i> (Koch) (Acari : Tetranychidae)</p>	 <p>(Caribfruits.cirad.fr)</p>	 <p>(inra.fr/hyppz)</p>

Figure 4: Exemple d'implantation traditionnelle d'une parcelle d'agrumes (à gauche) et traces d'érosion



Les espèces les plus problématiques sont *Phyllocoptruta oleivora* (Eriophyidae), *Polyphagotarsonemus latus* (Tarsonemidae) et occasionnellement certaines espèces de Tetranychidae (cf. Tableau 1). *P. oleivora* est d'ailleurs reconnu comme étant l'un des ravageurs les plus problématiques des agrumes dans le monde (Gellatley, 2003).

Des traitements acaricides sont appliqués systématiquement, à raison de deux par an, au début de la nouaison, période à laquelle les fruits sont les plus sensibles aux attaques de *Phyllocoptruta oleivora* (phytophages) et *Polyphagotarsonemus latus* (tarsonèmes) (de Roffignac, com pers). Actuellement, il existe trois matières actives acaricides, homologuées sur agrumes, pour le traitement des parties aériennes. Il s'agit de l'abamectine (Agrimec 0,075 L/HL), de l'hexythiazox (Euro Apro I 11, 0,05 L/HL et Nissorum 0,05 L/HL) et le tébufenpyrad (Masai 0,05 L/HL), utilisé plus spécifiquement contre les tétranyques tisserands (e-phy, 2009).

B. Conséquences des pratiques phytosanitaires et culturelles actuelles

1) Effet du désherbage total sur les sols et les eaux

La pratique courante qui consiste en quatre à cinq applications annuelles de Glyphosate sur la totalité de la parcelle, implique un dépassement de quatre à cinq fois la dose homologuée, soit 2200g de Glyphosate/ha/an d'après la législation française en vigueur. A noter que la dose homologuée a été établie pour des cultures fruitières pérennes métropolitaines où le désherbage ne concerne que le dessous de la frondaison, sans inclure l'inter-rang.

a) Impacts sur le sol

En Côte-sous-le-vent, les vergers sont traditionnellement implantés sur de fortes pentes, comprises entre 25 et 45%, selon l'Atlas du parc national de Guadeloupe. Les zones exploitées sont souvent des défriches de forêt. Le sol est généralement peu épais, pauvre en matière organique et résiste mal à l'érosion. Les effets conjugués de la pente et de la violence des précipitations (notamment en saison des pluies), favorisent un fort ruissellement qui ravine les parcelles (cf. Figure 4).

Outre la suppression de barrières physiques contre l'érosion, la gestion exclusivement chimique des adventices peut nuire à la micro-faune du sol. Tworowski et Welker (1996) ont démontré qu'après douze années d'utilisation d'herbicides de pré-levée, le taux de matière organique, la densité de champignons du sol et les populations bactériennes étaient moins importantes qu'en vergers maintenus enherbés et régulièrement fauchés (Brown et Tworowski, 2006). C'est la composante biologique de la fertilité du sol qui diminue.

b) Impacts sur les eaux

En Guadeloupe, près de la moitié de l'eau douce disponible est de mauvaise qualité chimique. Cette pollution est principalement d'origine agricole (de Roffignac *et al.*, 2007). Les résultats des tests effectués par la DIREN entre 2003 et 2005 confirment la contamination de toutes les rivières ayant fait l'objet de contrôles de qualité phytosanitaire. Les molécules les plus fréquemment observées sont celles entrant dans la composition des herbicides 2,4D et

Glyphosate, ou issues de sa dégradation (AMPA, Acide aminophosphonique). Les eaux souterraines sont également contaminées polluées par les herbicides. La famille de molécules herbicides la plus représentée est celle des triazines mais l'AMPA, produit de la dégradation du Glyphosate est aussi présente (GREPP, Groupe Régionale d'Etude des Pollutions par les Produits phytosanitaires, 2009).

2) Conséquences de l'usage d'acaricides chimiques sur la faune auxiliaire

Il est impossible d'instaurer un contrôle biologique par des insectes auxiliaires, si ceux-ci sont supprimés par les produits phytosanitaires, employés sur la culture (Hoy, 1985 *In* Irigaray *et al.*, 2007). Les effets non souhaités des produits sanitaires sur les auxiliaires peuvent être soit directs (mortalité) soit indirects (perturbation de l'oviposition, diminution du taux de reproduction, alimentation perturbée ou stoppée). Sur les trois substances employées pour le traitement des agrumes contre les acariens phytophages, l'Abamectine et l'Hexythiazox sont toxiques pour les Cecidomyidae, utiles contre le phytopte *Phyllocoptruta oleivora* (Eriophyidae), et toxiques pour les Phytoseiidae, efficaces contre les acariens phytophages (e-phy 2009). Si les relations trophiques qu'entretiennent les auxiliaires avec leurs proies sont perturbées, celles-ci peuvent se développer et causer des dégâts encore plus grands qu'avant traitement (Croft, 1990 *In* Irigaray *et al.*, 2007).

Outre la toxicité intrinsèque du produit, il faut prendre en compte sa rémanence, autrement dit la persistance de son effet dans le temps. Dans le cas des acaricides employés en agrumiculture, les résidus d'Abamectine sur le feuillage, ne sont rapidement plus toxiques pour le Phytoseiidae *Galendromus occidentalis* (persistance inférieure à cinq jours). En revanche, ils affectent la reproduction de *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) plus longtemps (5 à 15 jours) (Irigaray *et al.*, 2006). La rémanence des produits phytosanitaires dans l'environnement du verger conditionne la rapidité de recolonisation par les auxiliaires.

3) Effets non souhaités sur les acariens phytophages

La protection contre les diverses espèces d'acariens a longtemps été envisagée sous un angle strictement chimique. Or, le faible nombre de matières actives, homologuées sur agrumes, pour le traitement des parties aériennes (trois selon e-phy 2009), complique l'alternance et aboutit à une fréquence d'utilisation élevée de la même molécule. Cette pratique a conduit à une généralisation des résistantes aux insecticides de synthèse (Kreiter, 1993). Le dicofol, par exemple, n'est plus autorisé sur agrumes suite à l'apparition rapide de résistances chez les phytophtes, tarsonèmes et araignées rouges (e-phy, 2009). Omoto *et al.* (1995) ont démontré que la fréquence de résistance à cette matière active était corrélée positivement au nombre d'applications de dicofol à l'année. De façon plus générale, de nombreux auteurs ont démontré que *Tetranychus urticae* (Tetranychidae) et *Panonychus ulmi* (Tetranychidae) étaient capables de développer rapidement des résistances aux pesticides utilisés de façon régulière (Kumral et Kovanci, 2007).

A noter aussi que l'utilisation d'insecticides à large spectre élimine à la fois les ravageurs et leurs prédateurs naturels. Cette pratique laisse toute liberté de proliférer aux ravageurs résistants. Dans un contexte de production fruitière de qualité, exempte de résidus phytosanitaires, il est absolument nécessaire d'appréhender d'autres moyens de lutte contre ces ravageurs, plus respectueux de l'environnement et passant par une diminution de la quantité d'acaricides utilisée (Georghiou, 1972).

Tableau 2: Seuils de traitement établis pour les acariens phytophages des agrumes

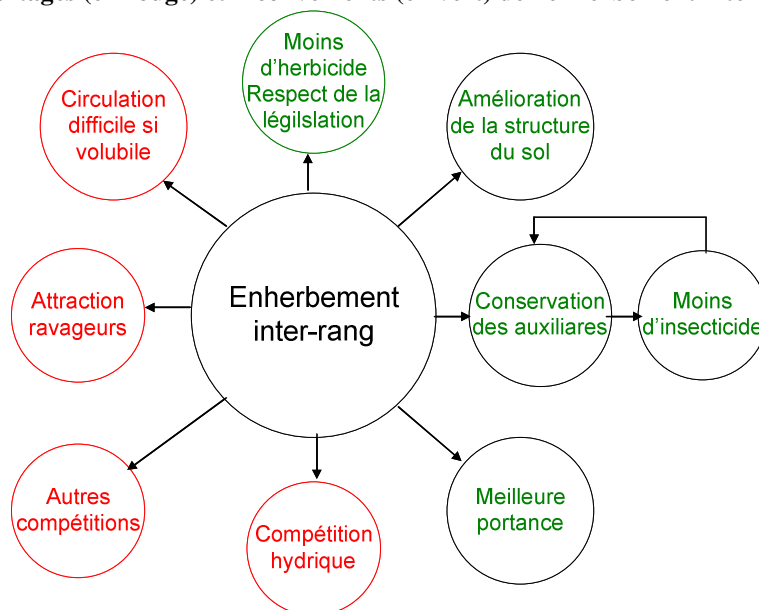
Seuils de traitement pour les acariens phytophages des agrumes	
Phytopte	Traiter dès que plus de 20% des fruits sont attaqués
Tarsonème	Traiter dès que plus de 20% des fruits sont attaqués
Araignées rouges	Traiter à partir de 50% de feuilles attaquées
	Sur jeunes plantations traiter dès l'apparition des premières colonies

(de Roffignac, 2007)

Tableau 3: Exemple de couples ravageur(s)/auxiliaire(s) en agrumiculture

Ravageur	Auxiliaire	Type d'action	Référence
<i>P. oleivora</i> Ashmead (Eriophyiidae)	<i>Beauveria bassiana</i>	Parasitisme	Alves <i>et al.</i> , 2005
<i>P. latus</i> Banks (Tarsonemidae)	Neoseiulus cucumeris (Acari : Phytoseiidae)	Prédation	Fan et Pettitt., 1994 ; Weintraub <i>et al.</i> , 2003
<i>P. oleivora</i> Ashmead (Eriophyiidae)	<i>Hirsutella thompsonii</i>	Parasitisme	Aghajanzadeh <i>et al.</i> , 2006 ; Kennet <i>et al.</i> , 1999
<i>Tetranychus urticae</i> Kocks (Tetranychidae)	<i>Hirsutella thompsonii</i>	Parasitisme	
<i>P. oleivora</i> Ashmead (Eriophyiidae)	Cecidomyiidae (Neuroptera et Diptera)	Prédation des œufs, nymphes et adultes	Kennet <i>et al.</i> , 1999 ; Villanueva <i>et al.</i> , 2006

Figure 5: Avantages (en rouge) et inconvénients (en vert) de l'enherbement inter-rang en verger



(Inspiré de Damas *et al.*, 2007, Solvar, 2007)

C. Vers une agrumiculture guadeloupéenne plus respectueuse de l'environnement

1) Evaluation des alternatives à la lutte chimique dans le contexte guadeloupéen

a) La lutte raisonnée

Il s'agit d'une lutte dans laquelle les moyens (essentiellement chimiques) de destruction des ravageurs ne sont employés qu'à bon escient, en cas de risque de dépassement du seuil de nuisibilité. Elle s'oppose à la lutte chimique systématique où les interventions sont déclenchées en fonction d'un calendrier. Elle préfigure la lutte intégrée (HYPPZ, 2005).

Le CIRAD a fixé des seuils d'intervention pour les acariens phytophages des agrumes adaptés aux conditions guadeloupéennes (cf. Tableau 2).

b) La lutte intégrée

La lutte intégrée contre les ravageurs des cultures consiste à combiner plusieurs techniques, pas seulement chimiques, afin d'optimiser le contrôle de toutes les classes de ravageurs (insectes, pathogènes, adventices, vertébrés), avec le souci de limiter autant que possible la lutte chimique, tout en assurant la viabilité économique de l'exploitation (Prokopy, 2002). La limitation de l'usage des insecticides préserve la faune auxiliaire qui est alors en mesure de contrôler efficacement les ravageurs. La densité des ravageurs étant maintenue à un niveau bas, le besoin en pesticides est réduit (Georghiou, 1972, Gurr et Wratten, 2002).

Parmi les moyens de lutte utilisables en protection intégrée, la lutte biologique utilise un organisme antagoniste. Il peut s'agir d'un parasite, d'un prédateur, d'un agent pathogène ou d'un compétiteur.

- La lutte biologique classique consiste à acclimater un auxiliaire exotique
- La lutte biologique inondative consiste à introduire dans une culture des antagonistes multipliés en masse
- La lutte microbiologique utilise des micro-organismes, souvent conditionnés comme des insecticides (exemple de la bactérie *Bacillus thuringiensis*)
- La lutte autocide, où l'auxiliaire est un individu de la même espèce, mais modifié (le plus souvent un mâle stérile), introduit dans la population pour en limiter la reproduction (HYPPZ, 2005)

En agrumiculture de nombreux couples prédateur-parasitoïde/proie ont été identifiés (cf. Tableau 3).

2) L'enherbement maîtrisé : alternative au désherbage total et intégration de la lutte biologique

Maintenir un enherbement inter-rang permet de réduire d'un tiers la quantité d'herbicide habituellement utilisé dans le cas d'une gestion chimique des adventices (Solvar, 2007). L'enherbement inter-rang a également un effet bénéfique sur la structure et la portance du sol (cf. Figure 5).

Figure 6: *Neonotonia wightii* (Wight & Arn.) en couverture (à droite) et Glyphosate (à gauche)



(Dubois, 2009)

NB : le retard de croissance des mandariniers entourés d'un couvert de Neonotonia pérenne par rapport aux arbres, du même âge, entretenus en sol nu (application de Glyphosate en moyenne tous les deux mois). L'irrigation et la fertilisation des deux modalités sont identiques.

a) L'enherbement spontané ou dit « naturel »

La méthode de l'ENM (Enherbement naturel maîtrisé), consiste à laisser s'implanter un enherbement spontané et à le maintenir à un niveau non concurrentiel pour la culture, en maîtrisant son développement (Aghulon, 1996). Son utilisation en verger d'agrumes, en Guadeloupe, n'est envisageable que sur les parcelles les moins pentues et les moins empierrées afin d'être en mesure de faucher régulièrement le couvert. Elle n'est pas satisfaisante pour les autres configurations de parcelles, qui constituent pourtant la majorité.

b) L'implantation d'une plante de couverture

Le principe de base est la culture d'une plante associée à la culture de rente, couvrant le sol et exerçant un pouvoir suppressif sur les adventices (Damas, 2007).

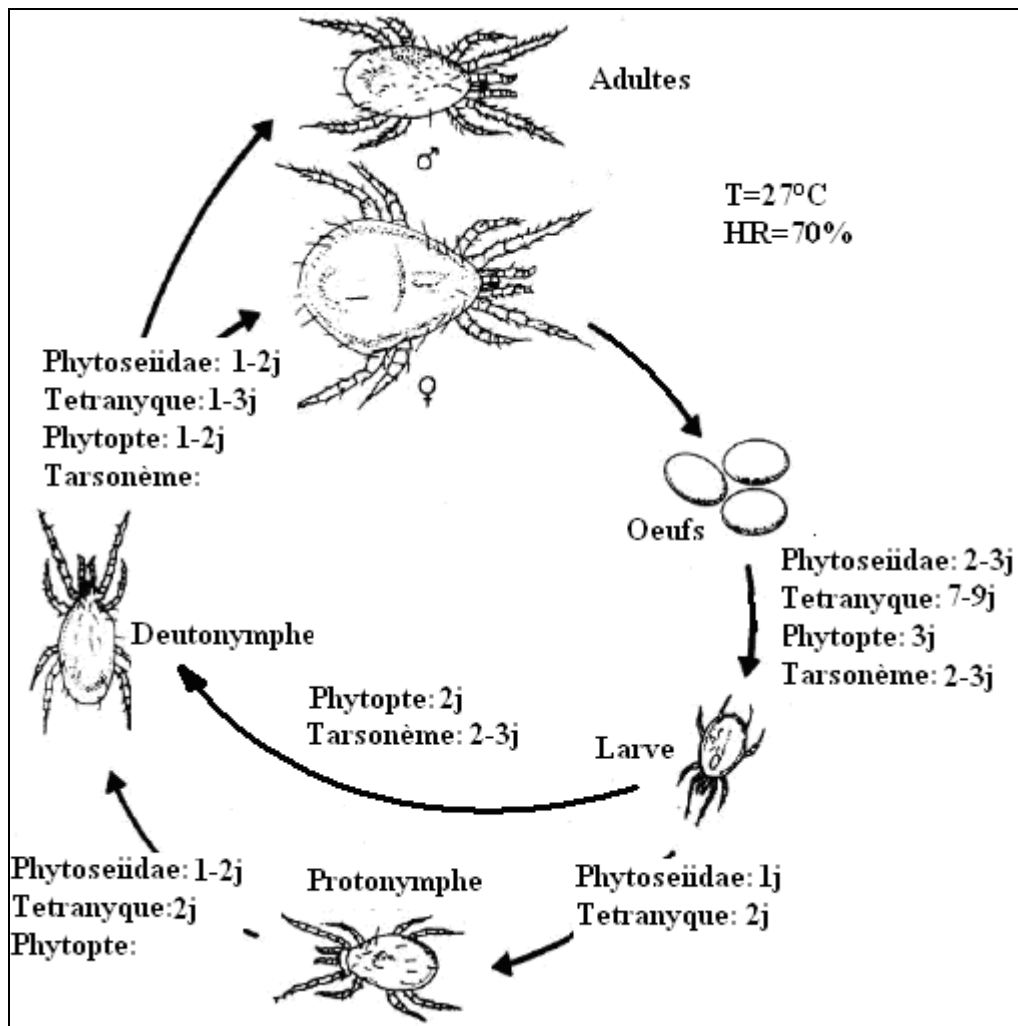
En 2007, l'unité Hortsys a étudié les impacts agronomiques, environnementaux et économiques de l'utilisation du *Macroptilium atropurpureum* (D.C.) comme plante de couverture en verger d'agrumes. L'objectif de maîtrise des adventices a été atteint grâce au caractère volubile, fortement occultant, de la légumineuse. La dose moyenne annuelle d'herbicide appliquée sur le couvert est légèrement inférieure à celle requise pour un unique passage, sur 100% de la surface, ce qui correspond à une diminution de quatre à cinq fois la dose habituellement employée dans le cas d'une gestion chimique des adventices. Ce type de gestion permet de respecter la législation en vigueur.

Toutefois, un inconvénient majeur réside dans la compétition hydrique entre la plante de couverture et les agrumes. Aucune différence de rendement n'a pu être constatée en verger adulte, mais les jeunes arbres, dont le système racinaire n'est pas complètement développé, accusent un retard de croissance (Solvar, 2007) (cf. Figure 6).

Le *Macroptilium atropurpureum* s'est aussi révélé sensible à un prédateur de la famille des Tingidae, ainsi qu'aux acariens et aux pucerons. Le *Neonotonia wightii* (Wight & Am.) légèrement plus performant en termes de couverture et de tolérance à la sécheresse, l'a remplacé avantageusement. Les contraintes liées à la compétition hydrique, et ses effets sur jeunes agrumes, restent toutefois identiques à celles observées en présence de *Macroptilium* (cf. Figure 6).

Lavigne *et al.* (2005), ont mené une expérience similaire en Martinique, où la gestion de l'enherbement est aussi problématique. Leur choix s'est porté sur l'implantation d'un couvert de poacées, intéressantes du fait de leur caractère non volubile (donc plus facilement maîtrisable), et pour leur effet bénéfique sur la structure du sol. Ce type d'enherbement qui doit être fauché régulièrement, nécessite un entretien plus conséquent qu'une légumineuse pérenne de type *Macroptilium* ou *Neonotonia*. Par ailleurs, avec des poacées, le détournement manuel des arbres est impossible, ce qui suppose de recourir à l'herbicide. Enfin, si le caractère non volubile des poacées, supprime le risque d'envahissement des arbres par le couvert végétal, leur pouvoir suppressif par occultation reste nettement inférieur (Damas *et al.*, 2007).

Figure 7: Schéma comparatif des cycles de vie des Phytoseiidae et des acariens phytophages des agrumes



(Adapté de Yaninek *et al.*, 1989, inspiré par Childers *et al.*, 1995, Quilici *et al.* CIRAD, 2003; Fasulo, 2000)

NB : les chiffres donnés pour le *tétranyque* sont valables à une température de 24°C et 56%HR

c) Contribution de l'enherbement des inter-rangs à la lutte biologique

Outre les avantages agronomiques qu'il apporte, le couvert végétal diversifie la flore de la parcelle. Or la diversité botanique favorise le maintien des prédateurs et des parasitoïdes sur une culture (Simon, 2009). Une des craintes les plus fréquemment exprimées par les producteurs concerne l'introduction de ravageurs dans la culture. Certes, l'augmentation de la diversité végétale s'accompagne d'une augmentation de la diversité des phytophages mais la diversité et l'abondance de leurs prédateurs augmentent aussi. Un équilibre entre phytophages et entomophages se crée (Simon, 2009).

Le couvert végétal constitue un réservoir de prédateurs naturels. On attend de ces prédateurs qu'ils soient capables de transiter de l'habitat herbacé à l'habitat arboré, où se trouvent les fruits à protéger (Horton *et al.*, 2002). C'est le cas du Phytoseiidae prédateur *Neoseiulus californicus* (McGregor). Il transite entre la strate herbacée et les agrumes, sur lesquels ses proies vivent et se reproduisent (Auger *et al.*, 1997).

D. Phytoseiidae auxiliaires et lutte par gestion et conservation des habitats

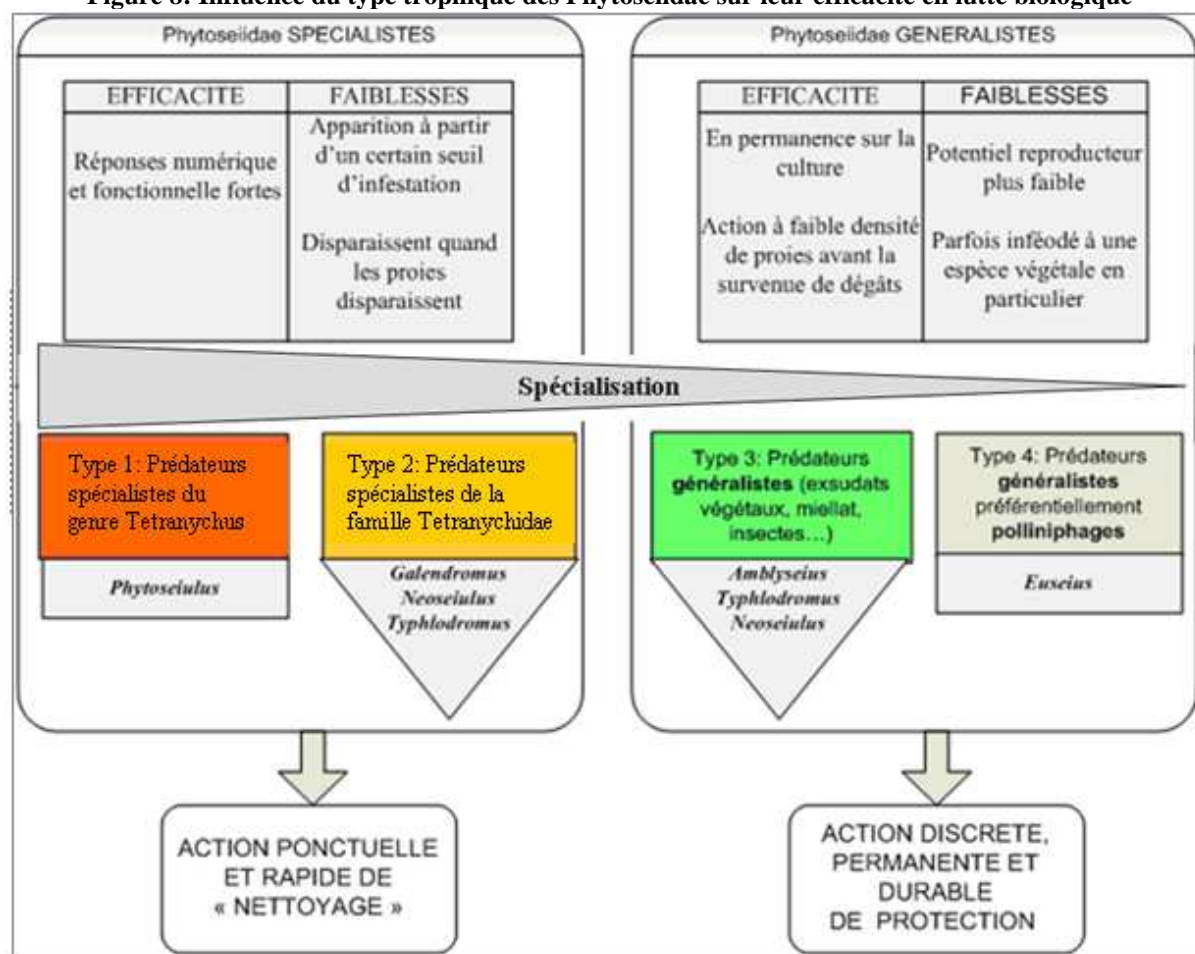
1) Phytoseiidae, des candidats idéaux pour la lutte biologique contre les acariens phytophages

Les Phytoseiidae sont une famille d'acariens appartenant à l'embranchement des Arthropodes, au sous-embranchement des Chélicérates, à la classe des Arachnides, à l'ordre des Acariens et au sous-ordre des Mésostigmates.

En général les espèces de la famille des Phytoseiidae sont les plus abondantes et certainement les mieux connues de tous les acariens prédateurs. Leur efficacité dans la lutte contre les acariens phytophages a été démontrée à de nombreuses reprises (McMurtry *et* Croft, 1997). D'autres familles d'acariens (Stigmatidae, Anystidae, Cheyletidae, Bdellidae, Cunixidae...) comptent des espèces prédatrices d'acariens phytophages, mais leur efficacité en lutte biologique est limitée par leur capacité de reproduction et de prédation trop faible ou par leur degré de spécialisation trop élevé. Ils ont une action complémentaire de celle des Phytoseiidae (Quilici *et al.*, 2003).

Les Phytoseiidae ont un cycle biologique court, en cinq phases dont la durée se rapproche de celle de leurs proies. Ils compensent leur reproductivité plus faible par une durée de vie supérieure à la moyenne des phytophages (cf. Figure 7).

Figure 8: Influence du type trophique des Phytoseiidae sur leur efficacité en lutte biologique



(Inspiré de McMurtry *et* Croft, 1997 ; Croft *et al.*, 2004)

Figure 9: *Iphiseiodes zuluagai* se réfugiant dans une domatie ouverte de *C.arabica*



(Matos *et al.*, 2004)

Il semble d'après McMurtry et Croft (1997), que les Phytoseiidae généralistes soient préférables aux spécialistes, pour une action de protection à long-terme du verger. Leur reproductivité, leur mobilité et leur voracité plus faibles que celle des prédateurs spécialistes sont très largement compensées par leur permanence sur la culture, même en l'absence de proies. La régulation est ainsi immédiate, constante et durable, préférable à l'action de « nettoyage », spectaculaire mais plus tardive, des spécialistes dont les populations, décimées par l'absence des proies, doivent se reconstruire à chaque nouvelle infestation (cf. Figure 8).

2) Besoins des Phytoseiidae et apports du couvert végétal

La présence des Phytoseiidae dans les vergers d'agrumes est souhaitable si l'on veut maintenir les acariens phytophages à un niveau non dommageable. La lutte biologique par conservation et gestion des habitats (LBCGH) est la plus appropriée pour atteindre cet objectif. Elle vise la conservation et l'augmentation de la faune auxiliaire existante, par la réalisation d'aménagements écologiques servant à la fois de réserves de nourriture et de refuges (Landis *et al.*, 2000).

L'intérêt de la manipulation de l'habitat est d'autant plus important en arboriculture que la pérennité de la culture favorise le maintien des réseaux trophiques et justifie des investissements en temps ou en aménagements importants (Simon, 2009). Elle constitue une alternative intéressante à la lutte biologique par introduction qui présente des limites importantes de faisabilité et d'efficacité (conditions écologiques défavorables au prédateur, dispersion des auxiliaires introduits hors de la parcelle, compétition avec d'autres acariens ou éradication par un prédateurs) (Kreiter *et al.*, 2003).

a) Besoins des Phytoseiidae, interactions avec le couvert

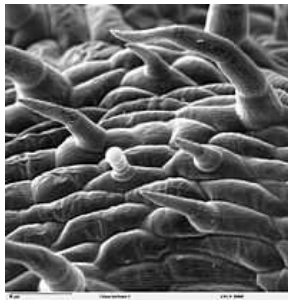
Les Phytoseiidae nécessitent un substrat pour la colonisation, de l'eau, du pollen et des exsudats comme nourriture alternative en l'absence de proies, des abris et un micro-climat favorable (Zenhder *et al.*, 2000).

Il semble que ce soit l'architecture (domaties, trichomes) de la feuille qui conditionne la capacité de la plante hôte à répondre à ces besoins (Kreiter *et al.*, 2002). D'une manière générale, les phytoséides vivent sur la face inférieure des feuilles qui présentent des nervures, une pilosité dense (trichomes) et des domaties (cavités plus ou moins ouvertes) (Kreiter *et al.*, 2002). Les feuilles dotées de ces structures hébergent souvent un plus grand nombre de phytoséides d'une espèce, ou une plus grande diversité d'espèces, que celles qui n'en possèdent pas (Kreiter *et al.*, 2002).

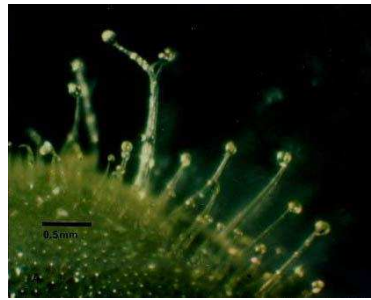
Trichomes et domaties affectent la recherche de proie, le nourrissage, l'accouplement, l'oviposition, la fuite etc. (Kreiter *et al.*, 2002), surtout dans le cas des généralistes qui utilisent davantage les éléments de la surface foliaire pour accomplir certaines fonctions biologiques que les spécialistes qui dépendent presque exclusivement des colonies de proies (McMurtry *et* Croft, 1997).

Les domaties (cf. Figure 9) servent d'abris aux Phytoseiidae et elles minimisent la compétition entre espèces de Phytoseiidae (Kreiter *et al.*, 1999) puisque le degré d'ouverture de la cavité détermine la ou les espèces capables de s'y réfugier, selon leur taille et leur forme. Elles servent également de réserves d'eau lorsque la surface de la feuille est sèche (Barret et Kreiter, 1992).

Figure 10: Trichomes d'une feuille (à gauche) retenant la condensation (au centre) et le pollen (à droite)



(upload.wikimedia.org)



(www.uic.edu)



(www.uic.edu)

Les trichomes (cf. Figure 10) retiennent, à la surface des feuilles, le pollen qui complète le régime alimentaire des Phytoseiidae et leur permet entre autres nourritures de survivre en l'absence de proies. Ils conditionnent aussi, par leur densité et leur espacement, la facilité d'un Phytoseiidae d'une taille et d'une forme données à se déplacer et à chasser à sa surface (Kreiter *et al.*, 2002). Enfin, en retenant les gouttelettes de condensation, ils maintiennent un microclimat humide à la surface de la feuille favorable aux Phytoseiidae (Auger *et al.*, 1992, Croft *et al.*, 2004, Weintraub *et al.*, 2003).

La compréhension de ces interactions est utile pour favoriser les Phytoseiidae dans les vergers. Des plantes de services nectarifères semées dans l'inter-rang des vergers d'agrumes pourrait aider à maintenir une population plus importante (Villanueva et Childers, 2004). Attention toutefois, car même si une plante présente une architecture foliaire adaptée à certaines espèces de Phytoseiidae, son état physiologique (turgescence, échanges gazeux etc.) doit lui permette de remplir ses fonctions auprès des acariens prédateurs qu'elle abrite (Auger *et al.*, 1992 ; Kreiter *et al.*, 2003). L'entretien de la plante de service devra maintenir cet état optimum.

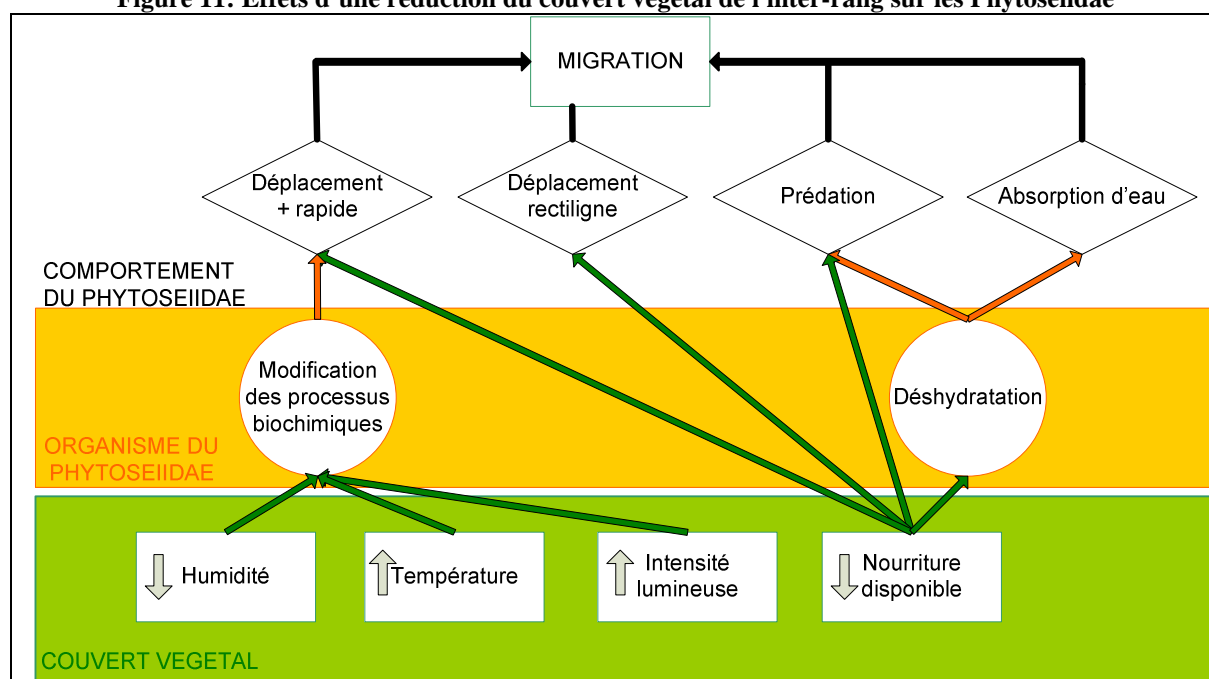
b) Fondement du choix de la plante de service

La spécificité des vergers (climats, culture pérenne, interventions dans le verger) incite à rechercher des plantes de couverture dotées de caractéristiques précises, censées garantir son maintien dans le temps et sa praticité. Les critères suivants ont été retenus par l'unité Hortsys:

- plante pérenne ou auto-régénérante pour restreindre les coûts liés à la préparation du sol et au semis,
- plantes trop volubiles à éviter (risque de voir la plante de couverture envahir les arbres),
- entretien limité (plus particulièrement les coupes impossibles à mécaniser),
- concurrence minime de la plante de couverture vis-à-vis culture principale pour l'accès à l'eau et aux sels minéraux,
- résistance à la période de sécheresse (2 à 3 mois),
- préservation des équilibres biologiques existants, voir amélioration.

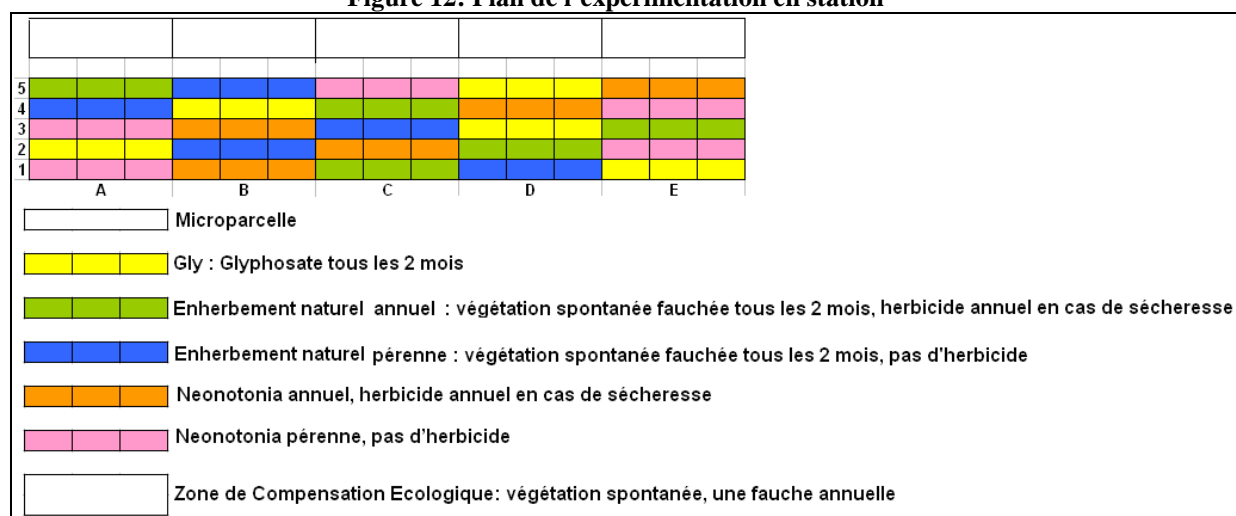
Dans une optique de lutte biologique par conservation et gestion des habitats des Phytoseiidae, la fourniture de nourritures alternatives est un point crucial car la quantité de nourriture disponible influence directement leur propension à la migration et leur capacité de reproduction (Auger *et al.*, 1992 ; Pozzebon *et al.*, 2005). Si toutes les espèces de la famille des Phytoseiidae sont prédatrices, la plupart se maintiennent et se reproduisent aussi très bien lorsqu'ils s'alimentent avec du pollen (Van Rijn et Tanigoshi, 1999). On appréciera donc une plante de couverture mellifère. Toutefois, tous les pollens ne conviennent pas de la même façon pour le développement à long terme et la reproduction d'une espèce donnée de Phytoseiidae (Barret et Kreiter, 1992 ; Grafton-Cardwell *et al.*, 1999). Il a été démontré que certains Phytoseiidae, comme *E. tularensis* (Congdon), ne se développaient pas bien ni ne se reproduisaient efficacement lorsqu'ils s'alimentaient avec du pollen de poacées. En revanche, le pollen de certaines légumineuses telles que *Vicia sativa* L, *Vicia villosa*, *Trifolium repens* L et *Vicia faba* L favorisait ces deux activités (Grafton-Cardwell *et al.*, 1999).

Figure 11: Effets d'une réduction du couvert végétal de l'inter-rang sur les Phytoseiidae



(Inspiré par Auger *et al.*, 1997)

Figure 12: Plan de l'expérimentation en station



(Mailloux, 2008)

c) Pratiques de gestion de l'enherbement défavorables aux Phytoseiidae

Dans une démarche de conservation des phytoséides, l'objectif est de gérer la plante de couverture de façon à perturber le moins possible les populations d'auxiliaires qu'elle héberge, sous peine de favoriser un mouvement migratoire (cf. Figure 11).

Pereira *et al.*, en 2006, ont étudié l'impact de la gestion de l'enherbement inter-rang en vergers d'agrumes sur les acariens Phytoseiidae, dans la région de Mafra (Portugal). Leur travaux révèlent que les arbres des vergers, désherbés chimiquement, abritent moins de Phytoseiidae que ceux des vergers maintenus enherbés, qu'il s'agisse d'un enherbement spontané ou semé.

L'impact de la fauche sur les populations de Phytoseiidae n'est pas négligeable non plus. En effet, Horton (2002) a montré que plus la fréquence de fauche augmente, plus les effectifs d'arthropodes prédateurs et parasitoïdes, du couvert herbacé et des arbres, diminuent. Ceci peut s'expliquer la modification du micro-climat (humidité, température, abris face aux radiations solaires...) et la disparition de la nourriture alternative qu'est le pollen. Grafton-Cardwell et Ouyang (1996) suggèrent de mettre à profit l'effet répulsif de la fauche pour faire migrer les Phytoseiidae du couvert herbacé vers les arbres, afin d'améliorer la protection des agrumes.

3) Expérimentation en station

L'abondance et la diversité des Phytoseiidae dans l'enherbement inter-rang ont fait l'objet d'un suivi mensuel, entre octobre 2008 et juillet 2009, dans le verger d'agrumes de la station du Cirad. Six différents types d'enherbement inter-rang ont été testés: (cf. Figure 12)

- Glyphosate tous les 2 mois,
- Enherbement naturel annuel : végétation spontanée fauchée tous les 2 mois, herbicide annuel en cas de sécheresse,
- Enherbement naturel pérenne: végétation spontanée fauchée tous les 2 mois,
- *Neonotonia wightii* annuel : plante de couverture, herbicide annuel en cas de sécheresse,
- *Neonotonia wightii* pérenne : plante de couverture, pas d'herbicide,
- Enherbement naturel pérenne à fauche tardive: végétation spontanée, une fauche annuelle.




Les modalités *Neonotonia* pérenne et annuel présentaient une très forte densité de Phytoseiidae ($P_{Neo} = 13.20 \pm 4.65$ and $A_{Neo} = 12.22 \pm 6.28$ individus par 900cm^2 de végétation). L'enherbement naturel pérenne à fauche tardive, quant à lui, recelait une densité importante de Phytoseiidae (6.70 ± 4.19). En revanche, l'enherbement naturel qu'il soit pérenne ou annuel, n'abritait que peu de Phytoseiidae à l'année ($AV = 1.22 \pm 1.39$ and $PV = 1.45 \pm 0.76$). Enfin, la modalité Glyphosate montrait d'importantes variations. On ne trouvait pas de Phytoseiidae, au cours du mois suivant l'application d'herbicide, mais ceux-ci se réimplantaient progressivement par la suite.

L'enherbement naturel pérenne, à fauche tardive, abritait la plus grande diversité de Phytoseiidae (Indice de Simpson (1-D) compris entre 0.40 and 0.81). Les *Neonotonia* pérenne et annuel abritaient, en général, une population dont le niveau de diversité variait au cours du temps. La diversité dans la modalité Glyphosate était pour ainsi dire nulle. Les enherbements naturels pérenne et annuel présentaient, quant à eux, une faible diversité de Phytoseiidae et ce, sur toute la durée de l'expérimentation.

En conclusion ; le *Neonotonia wightii* est apparu comme étant un bon réservoir de Phytoseiidae, permettant de maintenir une population abondante et diversifiée, tout au long de l'année. L'enherbement naturel, à fauche tardive, semblait être également un mode de gestion intéressant pour la conservation des Phytoseiidae.

La suite logique de cet essai en station consistait à le transférer chez le producteur, en conditions réelles d'exploitation. Cela permettait de tester les prototypes dans des vergers plus « classiques ». En effet, le verger de la station est un verger très jeune (1,5 an) et de dimension très réduite. Transférer l'essai chez des producteurs permettait aussi d'étendre l'étude de l'abondance, et de la diversité des Phytoseiidae, de l'enherbement aux *Citrus*. En effet, compte tenu de la jeunesse des arbres du verger expérimental, il était impossible de prélever régulièrement des feuilles, sans nuire à la photosynthèse. Enfin, cela permettait de tester l'acceptation des prototypes par les producteurs.

Tableau 4: Description des modalités d'enherbement testées

LP		Glyphosate tous les 2 à 3 mois sur 100% de la parcelle. Pratique courante si mécanisation impossible
ENP		Autorisation d'une flore spontanée Mécanisation régulière du couvert Détourage chimique des arbres.
GLY		Implantation d'une légumineuse volubile pérenne (<i>N.wightii</i>) Destruction manuelle des adventices Détourage manuel des agrumes

(Photos: Bellahirech, 2008)

Tableau 5: Répartition des modalités par verger

	GLY	ENP	LP
Verger 1	X	X	X
Verger 2	X	X	
Verger 3	X		X

Tableau 6: ITK des parcelles d'essai durant la période d'expérimentation

	Taille d'entretien	Traitement phytosanitaire	Opérations culturales	Irrigation
Verger 1	Pas de taille en 2009	27/02 Aliette au pied (Phoséthyl-aluminium 80%) 06/03 Oliocin (Huile blanche de pétrole 696g/L)	non	Oui Au pied
Verger 2	Pas de taille en 2009	février 2009 Oliocin et Aliette Pas de traitement entre mars et mai 2009	non	Oui Par aspersion sur frondaison
Verger 3	Pas de taille en 2009	Pas de traitement depuis septembre 2008	non	Oui Par micro-aspersion sous frondaison

Chapitre 2. Protocole d'évaluation quantitative et qualitative des Phytoseiidae au verger

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'impact de la gestion de l'enherbement sur les Phytoseiidae présents dans l'enherbement de l'inter-rang, et dans le feuillage des *Citrus*. On considère l'effet de chaque modalité de gestion de l'enherbement, à la fois sur l'abondance et la diversité des Phytoseiidae.

A. Etat des lieux des sites expérimentaux

1) Description des parcelles chez les exploitants

Le choix des parcelles s'est effectué en décembre 2008 en prenant en compte les critères de sélection suivants :

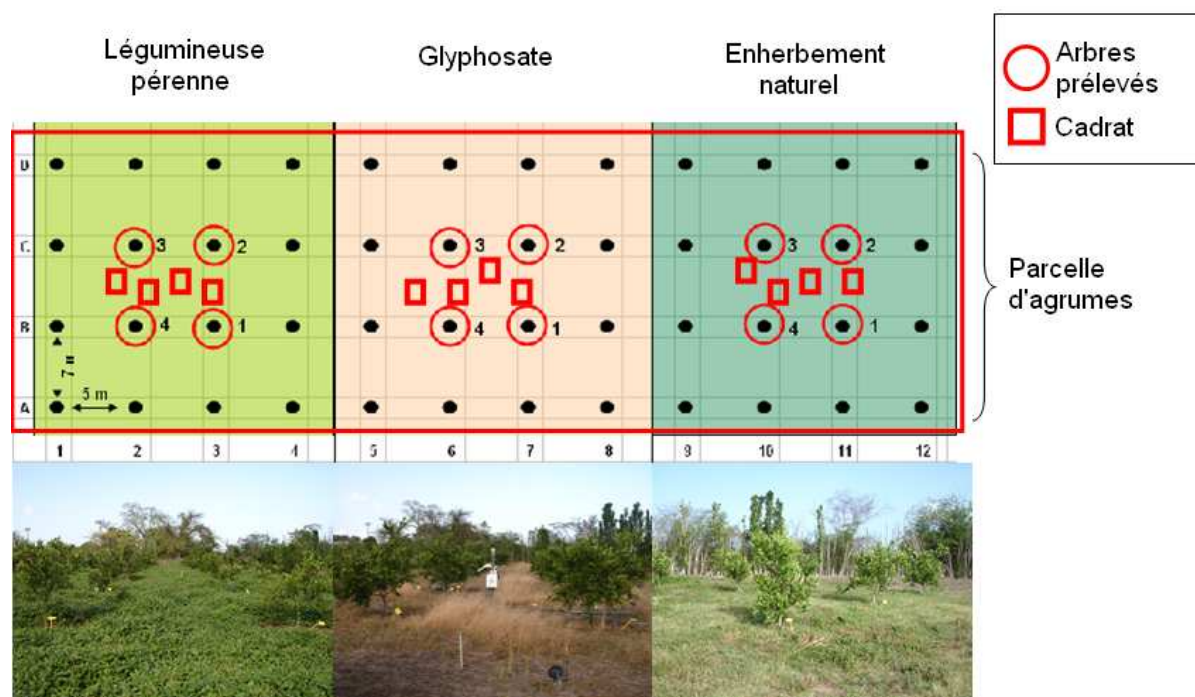
- homogénéité la plus grande possible entre les parcelles,
- confiance en l'exploitant quant au respect des modalités d'entretien de l'inter-rang,
- motivation de l'exploitant.

Pendant toute la durée de l'expérimentation, le niveau de perturbation des vergers a été réduit au minimum, à savoir l'intervention sur le couvert végétal. Il n'y a pas eu, de traitement phytosanitaire ou de taille (cf. tableau 6, Annexe IV, VI et VIII).

2) Les modalités de gestion de l'enherbement

Parmi les six modalités de gestion, testées en station, trois l'ont été chez les producteurs : « Glyphoste » (GLY), « Enherbement naturel pérenne » (ENP) et « *Neonotonia* pérenne » (LP) (cf. tableau 4 et 5). Elles ont été retenues pour leur adaptation aux contraintes topographiques, climatiques et organisationnelles des exploitants. L'objectif est double : diminuer au maximum la quantité d'herbicide utilisée, jusqu'au « zéro herbicide » (modalité *Neonotonia* pérenne, LP), et restreindre l'entretien de l'enherbement (économie de temps, de main d'œuvre, de carburant...).

Figure 13: Schéma du dispositif de prélèvement (exemple du verger 1)



(Bellahirech, 2008)

NB : Le dispositif de prélèvement est le même dans tous les vergers.
(cf. Annexes VII et IX : Plans et photos des essais)

B. Protocole de prélèvements des Phytoseiidae et traitement des prélèvements

1) Description du matériel végétal et de la méthode de prélèvement

a) Prélèvements dans les arbres

On prélève des feuilles d'oranger ou de mandarinier (variété 'Dancy' ou 'Frémont') selon les parcelles sélectionnées.

Sur chacun des trois sites, pour chaque modalité d'enherbement, quatre vingt feuilles sont prélevées au hasard, sur 4 arbres, à raison de 20 feuilles par arbres. Le prélèvement s'effectue sur les 4 arbres, situés au centre de chaque micro-parcelle, définie par une modalité d'enherbement, afin d'éviter tout effet de bordure avec les modalités adjacentes (cf. Figure 13, annexe VII et IX). Les feuilles sont choisies d'âge sensiblement similaire (ni trop jeunes, ni sénescentes) afin que chaque échantillon de 20 feuilles représente sensiblement la même surface foliaire. Les feuilles sont prélevées à l'intérieur de la canopée (fraîcheur et humidité favorables aux Phytoseiidae), à hauteur d'épaule, en faisant le tour de l'arbre (pas de biais lié à l'exposition). Il faut veiller à saisir la feuille sectionnée par le pédoncule pour ne pas perdre d'individus. Chaque échantillon de 20 feuilles est placé dans un flacon d'une contenance de 2l contenant un peu d'eau pour éviter tout dessèchement.

b) Prélèvements dans le couvert végétal de l'inter-rang

Dans chaque micro-parcelle définie par une modalité d'enherbement, un cadrat de 30x30cm est lancé aléatoirement, quatre fois, dans les inter-rangs de la zone centrale (cf. Figure 12, annexe III, V et VII). Les espèces présentes sont identifiées *in situ*, à l'aide de la flore Fournet (2002). Le pourcentage de couverture, relatif à chacune, est estimé visuellement ainsi que la hauteur du peuplement.

Le matériel végétal est coupé au ras du sol et placé séparément dans un flacon d'une contenance de 2L contenant un peu d'eau. On compte un flacon par cadrat.

c) Organisation des prélèvements

Le planning des prélèvements dépend du calendrier d'intervention des exploitants (cf. Annexe 1). Ils ont à la date la plus proche possible de l'application de Glyphosate ou de la fauche. En effet, l'hypothèse a été émise que la densité et la diversité de Phytoseiidae étaient maximales lorsque la biomasse végétale était maximale. Les prélèvements étaient reportés en cas de pluie ou s'il avait plu abondamment la veille (cf. Annexe 10). En effet, la pluie peut « lessiver » les Phytoseiidae présents à la surface des feuilles et réduire de façon trompeuse la population.

Les prélèvements se font au rythme d'un par semaine, suivi de deux jours consacrés au tri et au montage des Phytoseiidae. Chaque site est prélevé trois fois, à trois semaines d'intervalle.

2) Traitement des prélèvements en laboratoire

a) Tri des Phytoseiidae

La méthode de trempage-lavage de Boller (1984) est utilisée pour séparer les Phytoseiidae du support végétal.

Les prélèvements sont mis à tremper pendant 24h dans de l'eau additionnée de quelques gouttes d'eau de Javel et de mouillant (produit vaisselle). Les prélèvements sont ensuite lavés deux fois, à l'eau claire, et filtrés. Un filtre de 300 μ qui retient les débris les plus gros est superposé à un filtre de 80 μ . Les Phytoseiidae sont retenus dans ce dernier filtre. Les comptages sont effectués directement sur le filtre de 80 μ , disposé sous la loupe binoculaire (grossissement x20). Le filtre est observé, une fois, très lentement. Les Phytoseiidae sont prélevés à l'aide d'un pinceau fin et montés entre lame et lamelle.

b) Montage entre lame et lamelle

Le montage, entre lame et lamelle, se fait dans une goutte de solution de Hoyer (eau distillée 50 ml, gomme arabique solide 30 g, hydrate de chloral 200g, Glycérine 16 ml (Anderson, 1954)). La solution de Hoyer est un bon milieu de conservation. C'est un agent nettoyant puissant qui dissout la matière organique et ne laisse que les structures chitineuses.

Afin de faciliter l'observation ultérieure et la comparaison avec les illustrations, les Phytoseiidae doivent être montés en position ventrale, partie antérieure du corps vers l'observateur.

Les lames sont placées à l'étuve à 50°C pendant 5 jours, pour sécher le milieu de conservation, avant d'être luttées (scellées hermétiquement) au vernis à bois.

c) Identification des Phytoseiidae

Les Phytoseiidae sont identifiés jusqu'à l'espèce. C'est sur les femelles que se base l'identification puisque le sexe ratio est en leur faveur et qu'elles possèdent davantage de caractères discriminants.

L'identification se fait sous microscope à contraste de phase (Prescott *et al.*, 2003), muni d'un réticule macro-métrique gradué. Elle se base notamment sur l'absence ou la présence de soies (également appelées setae), leur disposition, leur épaisseur et leur longueur.

Des clés de détermination, basées sur les travaux de Chant et McMurtry (1994, 2003a, b, 2005a, b, c, 2006a, b), sont utilisées jusqu'au genre et la détermination des espèces se fait à l'aide de fiches descriptives extraites de publications.

Le Dr. S. Kreiter de Sup' Agro Montpellier, spécialiste des Phytoseiidae, a été sollicité pour aide à l'identification. Les lames ont été envoyées par courrier postal.

C. Analyse et traitement statistique

1) Rappel des objectifs

Le but de cette étude est de mettre en évidence l'impact du mode de gestion de l'enherbement des vergers d'agrumes, sur l'abondance et la diversité des Phytoseiidae, ennemis naturels des acariens phytophages.

Compte tenu de l'hétérogénéité des vergers (exposition au soleil et aux vents dominants, densité de plantation, variétés cultivées, âge du verger, pratiques culturales autres que la gestion de l'enherbement etc...), l'impact des modalités d'enherbement a été comparé site par site.

Les dates de prélèvement ont été décidées, prioritairement, en fonction des interventions des exploitants sur l'enherbement mais elles dépendaient aussi de la météorologie (pas de pluie la veille, ni le jour même) et devaient permettre de respecter l'intervalle de trois semaines entre deux répétitions. L'intervalle de temps entre la dernière intervention sur le couvert et le relevé n'étant pas fixe, l'impact des modalités d'enherbement a été comparé date par date.

Le logiciel R a été utilisé pour l'ensemble de l'analyse statistique

2) Le choix du test statistique

Les données quantitatives, consistant en des effectifs de Phytoseiidae par espèce, font l'objet d'une analyse statistique. Elles sont analysées site par site, date par date, en fonction de la modalité d'enherbement et en distinguant les compartiments 'enherbement' et 'feuillage des agrumes'. Le test statistique doit permettre de déterminer s'il existe des différences significatives d'abondance, entre deux modalités d'enherbement, sur un même site et à une date donnée, et cela dans chacun des compartiments.

La variable à expliquer est l'effectif de Phytoseiidae. La variable explicative est le mode de gestion de l'enherbement.

Des tests de Shapiro-Wilks ont montré que la variable « effectif » ne suivait pas une loi normale. Etant donné que les données sont des effectifs, des transformations de la variable de type $Y = \log(X+1)$ et $Y = \sqrt{X}$ ont été tentées pour normaliser la variable mais sans succès.

Dans ces conditions, l'emploi d'un test non paramétrique se justifie. Les tests non paramétriques ont des modèles moins contraignants que les tests paramétriques car les hypothèses de normalité des distributions et d'égalité des variances ne sont pas exigées. Ils sont, en contrepartie, moins puissants que ces derniers, c'est-à-dire que le risque d'accepter H_0 alors qu'elle est fausse est plus grand. Ils sont valables pour des échantillons faibles, ce qui est le cas pour les effectifs par site/date/modalité.

Un même Phytoseiidae ne pouvant pas être prélevé deux fois, les échantillons sont indépendants.

Dans un premier temps, on procède à des tests globaux, pour mettre en évidence des différences d'effectif significatives entre deux modalités. Lorsque le nombre de modalités comparées est égal à 2, on procède à un test de Mann-Whitney qui est un équivalent non paramétrique de l'analyse de variance. Il compare les moyennes de deux échantillons, par comparaison des rangs. Ce test a été répété pour l'ensemble des échantillons pris deux à deux. Lorsque le nombre de modalités comparées est égal à 3, on procède à un test de Kruskal-Wallis. C'est une extension du test de rang à deux échantillons.

Les résultats s'appuient sur les p-values issues des tests. Si celles-ci sont inférieures à 0,05, l'hypothèse alternative selon laquelle il existe une différence significative dans la distribution des effectifs entre les deux modalités d'enherbement est acceptée. Les hypothèses sont les suivantes :

- H_0 (hypothèse nulle) : $\mu A = \mu B$
- H_A (hypothèse alternative) : μA différent de μB

Avec A et B deux échantillons de Phytoseiidae et μ l'effectif moyen de Phytoseiidae

A l'issue d'un test de Kruskal-Wallis ou de Mann-Whitney bilatéral, lorsque des différences significatives ont été repérées, on procède à un test unilatéral de Mann-Whitney, plus puissant qu'un test bilatéral (risque plus faible d'accepter H_A alors qu'elle est fausse). Ce test désigne les modalités dont les effectifs de Phytoseiidae sont significativement supérieurs aux autres. Les hypothèses sont les suivantes :

- H_0 (hypothèse nulle) : $\mu A > \mu B$
- H_A (hypothèse alternative) : $\mu A \leq \mu B$

Dans ce cas, si la p-value est inférieure à 0,05, H_0 est rejetée au risque $\alpha=0,05$ de se tromper.

3) Les indices de diversité spécifique

Pour approcher la diversité existant au sein de la population de Phytoseiidae, on commence par calculer la **richesse spécifique**. Toutefois, comme elle **ne tient pas compte de l'abondance des Phytoseiidae, ni de la répartition des effectifs entre espèces**, un ou des indice(s) de diversité est (sont) nécessaire(s).

Divers indices existent mais **les meilleurs et les mieux connus pour mesurer la diversité sont les indices de Shannon-Weaver et de Simpson** (Magurran, 1988). Chacun offre une approche particulière, et parfois divergente, de la diversité, selon la façon dont il est calculé. C'est pourquoi **il est intéressant d'en calculer plusieurs afin de pouvoir analyser de façon plus juste et plus fine la structure du peuplement**.

a) L'indice de Shannon- Weaver

L'indice de Shannon-Weaver est le plus couramment utilisé dans la littérature. Il permet de mesurer la composition en espèces du peuplement. **Contrairement à l'indice de Simpson, il prend en compte les espèces rares, à l'effectif réduit.** Il se calcule de la façon suivante :

$$H' = - \sum ((N_i / N) * \log_2 (N_i / N))$$

N_i : nombre d'individus d'une espèce donnée, i allant de 1 à S (nombre total d'espèces)

N : nombre total d'individus

\log_2 : logarithme en base 2

H' est minimal (=0) si tous les individus du peuplement appartiennent à une seule et même espèce, H' est également minimal si, dans un peuplement chaque espèce est représentée par un seul individu, exceptée une espèce qui est représentée par tous les autres individus du peuplement. **Il est nécessairement compléter par l'indice d'équitabilité J , qui rapporte la diversité observée à la diversité maximale:**

$$J = H' / \log_2 (S)$$

H' : indice de Shannon et Weaver

S : Le nombre total d'espèces

Cet indice peut varier de 0 à 1, il est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et il est minimal quand une seule espèce domine tout le peuplement. Il est insensible à la richesse spécifique.

b) L'indice de Simpson

L'indice de Simpson, contrairement à l'indice de Shannon-Weaver, ne nécessite pas le calcul d'un indice d'équitabilité. Cet indice (D) mesure la probabilité que 2 individus pris aléatoirement dans un échantillon appartiennent à la même espèce. **(1-D) représente la répartition des différentes espèces dans l'échantillon.** Il se calcule de la façon suivante :

$$1-D = 1 - \sum N_i (N_i - 1) / N (N - 1)$$

N_i : nombre d'individus de l'espèce donnée.

N : nombre total d'individus.

Si l'indice de diversité de Simpson est représenté par $1-D$, le maximum de diversité est représenté par la valeur 1, et le minimum de diversité par la valeur 0.

Il faut noter que cet indice de diversité **donne plus de poids aux espèces abondantes qu'aux espèces rares.** Le fait d'ajouter des espèces rares à un échantillon, ne modifie pratiquement pas la valeur de l'indice de diversité.

c) L'indice de Hill

L'indice de diversité de Hill a aussi été calculé. **Il offre l'avantage d'intégrer les indices de Shannon-Weaver et Simpson.** Il permet d'obtenir une vue encore **plus précise et synthétique** de la diversité observée. Il se calcule de la façon suivante :

$$\text{Hill} = (1/\lambda) / e^{\frac{H'}{H'}}$$

$1/\lambda$: c'est l'inverse de l'indice de Simpson.

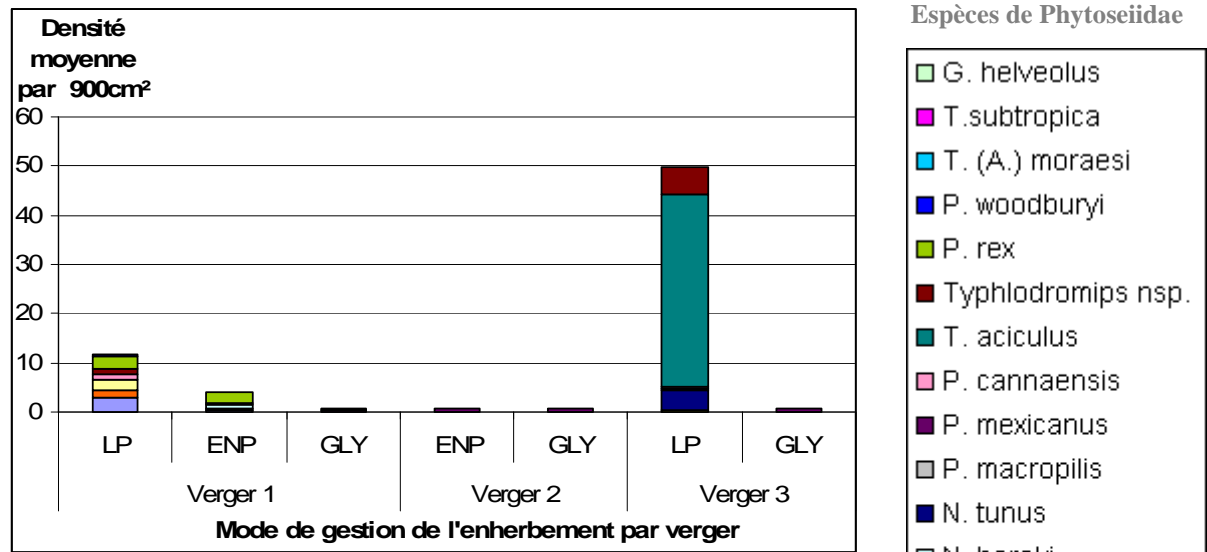
$e^{\frac{H'}{H'}}$: c'est l'exponentiel de l'indice de Shannon-Weaver.

L'inverse de l'indice de Simpson ($1/\lambda$) va permettre la mesure du nombre d'individus très abondants. L'exponentielle de H' , en revanche, va surtout permettre de mesurer le nombre des espèces rares.

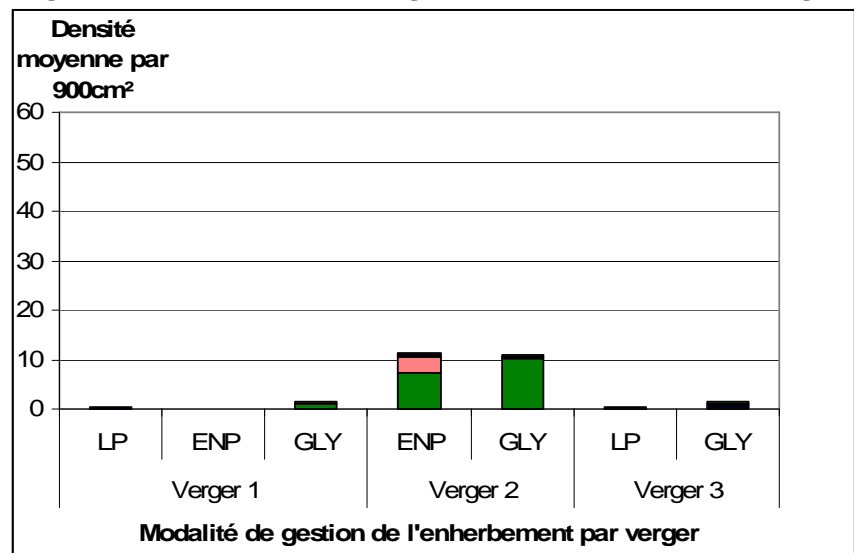
Plus l'indice de Hill s'approche de la valeur 1, et plus la diversité est faible. Afin de faciliter l'interprétation, c'est l'indice 1-Hill qui est utilisé. La diversité maximale est alors représentée par la valeur 1, et la diversité minimale par la valeur 0.

Utiliser ces trois indices permet d'extraire un maximum d'informations et de mieux comprendre la structure du peuplement de Phytoseiidae. Ils sont calculés pour les différentes dates de prélèvement afin d'observer l'évolution de la population au cours du temps.

Graphique 1: Abondance moyenne des Phytoseiidae de l'enherbement en fonction du mode de gestion et du verger



Graphique 2: Abondance moyenne des Phytoseiidae du feuillage des agrumes en fonction du mode de gestion de l'enherbement et du verger



Chapitre 3. Résultats

A. Les Phytoseiidae des vergers d'agrumes

Au total, **mille cent quatre vingt cinq Phytoseiidae** représentés par **dix neuf espèces** ont été collectés, dans les trois vergers étudiés (Annexe II). **Huit cent vingt deux individus ont été prélevés dans l'enherbement inter-rang** et **trois cent cinquante** dans les *Citrus*. Parmi les dix neuf espèces identifiées, *Transeius aciculus* et *Amblyseius largoensis* représentaient à elles-seules 64% des Phytoseiidae piégés.

L'abondance et la diversité spécifique des Phytoseiidae varient fortement d'un verger à l'autre. Le verger 3 se distingue des deux autres vergers par l'importance de la population de Phytoseiidae présente dans ses inter-rangs (200 individus prélevés en moyenne par relevé contre à peine 66 dans le verger 1). En revanche, la population qu'il abrite est peu diversifiée par rapport à celle du verger 1 (4 espèces en moyenne par relevé contre 11). Le verger 2 montre une distribution particulière des Phytoseiidae. 95% des individus collectés se trouvaient dans les *Citrus* alors que ce compartiment n'était fréquenté que par 4% des Phytoseiidae du verger 1 et 3% des Phytoseiidae du verger 2.

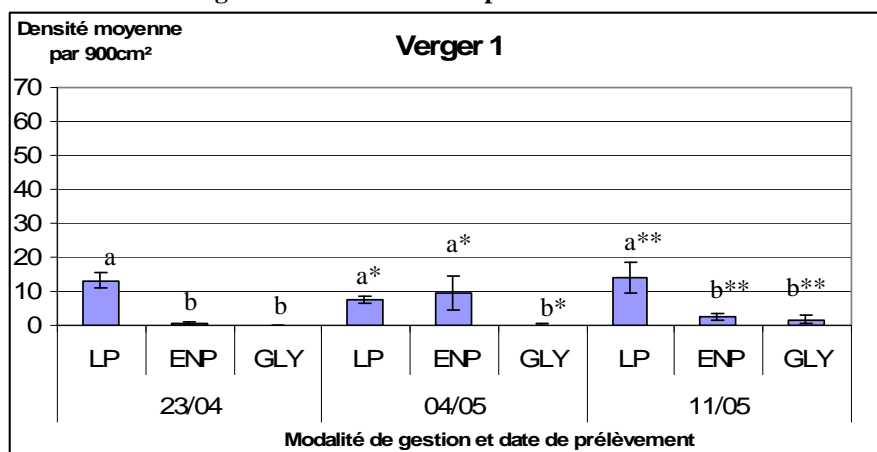
La présence de certaines espèces, et leur effectif respectif, dépendent du verger et du compartiment considéré : enherbement inter-rang ou *Citrus*. L'espèce la plus abondante, *Transeius aciculus* (DeLeon) (43% de l'effectif total des Phytoseiidae collectés), est retrouvée uniquement dans l'enherbement du verger 3 (cf. Graphique 1). La seconde espèce la plus abondante, *A. largoensis* (Muma) (21% de l'effectif total des Phytoseiidae collectés) est trouvée majoritairement dans le feuillage des agrumes et plus particulièrement ceux du verger 2 (cf. Graphique 2).

A ce stade, les résultats semblent suggérer que les différentes modalités de gestion de l'enherbement n'ont pas le même impact sur la population de Phytoseiidae. D'après le graphique 1, il semblerait qu'il y ait davantage de Phytoseiidae dans la modalité LP que dans la modalité ENP et que celle-ci en abriterait davantage que la modalité GLY. L'analyse statistique devra confirmer ces observations.

P. mexicanus (Garman) semble être une espèce particulièrement ubiquiste. Elle est présente dans les trois vergers et fréquentent à la fois la modalité ENP et la modalité GLY. D'autres, en revanche, ne sont présentes que dans un seul verger. Par exemple, *T. aciculus*, représentant 78% de l'ensemble des Phytoseiidae collectés dans le verger 3, n'est retrouvé dans aucun des deux autres vergers étudiés. De même, *Phytoseius rex* n'a été observé que dans le verger 1. Il semble donc que les conditions offertes par le verger (exposition, densité de plantation, variétés cultivés, occupation du sol alentours, pratiques culturales etc...) jouent un rôle non négligeable dans la détermination des espèces présentes.

Bien que cela soit à considérer avec prudence, compte tenu du faible nombre de prélèvement et de la faiblesse des effectifs, il serait possible que la présence de certaines espèces soit favorisée par un type d'enherbement donné. Ainsi, *Neoseiulus tunus* (DeLeon) et une nouvelle espèce du genre *Typhlodromips* n'ont été retrouvées que dans la modalité LP. Cela s'est vérifié dans le verger 1 et le verger 3.

Graphique 3: Effectifs moyens de Phytoseiidae prélevés par cadrat (30x30cm) dans les différentes modalités d'enherbement du verger 1 aux trois dates de prélèvement



NB : Les données marquées d'une lettre différente ont des valeurs statistiquement différentes selon le test de Mann-Whitney à $p=0,05$.

B. Le peuplement du compartiment enherbement inter-rang

1) Abondance des Phytoseiidae dans l'inter-rang des vergers d'agrumes

a) Impact du type d'enherbement sur l'abondance des Phytoseiidae de l'inter-rang

Un test de Shapiro-Wilks révèle que la variable 'effectif moyen' ne suit pas une loi normale ($W=0,79$; $p=9,77 \times 10^{-6}$). De ce fait, le recours à des tests statistiques non paramétriques se justifie. Un individu ne pouvant pas être prélevé deux fois, les échantillons sont indépendants.

Dans le cas du verger 1, le nombre d'échantillons, égal à 3 (trois modalités de gestion testées), permet l'utilisation du test de Kruskal-Wallis (à $p=0,05$), un test global destiné à détecter l'existence de différences significatives entre les moyennes des différents échantillons étudiés. Les hypothèses de travail sont les suivantes :

#H0:les moyennes des différents échantillons étudiés ne sont pas significativement différentes

#HA : Parmi les moyennes des différents échantillons, l'une au moins est significativement différente des autres

Tableau 7: Résultats du test de Kruskal-Wallis (à $p=0,05$) pour le verger 1

Verger 1	23/03	20/04	11/05
LP	13,25 ± 2,02 a	7,50 ± 0,87 a	14 ± 0,00 a
ENP	0,50 ± 0,50 b	9,50 ± 4,87 a	2,50 ± 1,19 b
GLY	0,00 ± 0,00 b	0,25 ± 0,25 b	1,75 ± 1,44 b
df=2	H=9,37 $p=9,22 \times 10^{-3}$ *	H=7,98 $p=1,85 \times 10^{-3}$ *	H=7,60 $p=2,23 \times 10^{-3}$ *

NB : les p-values marquées d'un astérisque sont significatives.

Aux trois dates de prélèvement, p est inférieur au seuil de risque alpha fixé à 0,05 (cf. Tableau 7). Cela signifie qu'à chaque prélèvement, il existe des différences significatives entre les moyennes des trois échantillons étudiés. Autrement dit, les modalités de gestion de l'enherbement ont un impact significativement différent sur la densité des Phytoseiidae.

Un test de Mann-Whitney unilatéral (à $p=0,05$) est pratiqué à posteriori, pour déterminer quels sont les échantillons significativement différents et connaître le sens de cette différence (inférieur, supérieur). Les hypothèses de travail sont les suivantes :

H0 : $\mu_A \leq \mu_B$

HA : $\mu_A > \mu_B$ avec A et B deux modalités et μ la moyenne des échantillons

Le test de Mann-Whitney permet de préciser, qu'à chaque date de prélèvement, l'abondance des Phytoseiidae était significativement supérieure dans la modalité LP par rapport à la modalité GLY ($p=0,011$ le 23/03; $p=0,012$ le 20/04 et $p=0,015$ le 11/05) (cf. Tableau 8 ci-dessous). Cela confirme l'information portée par le Graphique 1.

Tableau 8: p-values du test unilatéral de Mann-Whitney (à $p=0,05$) pour le verger 1

	LP/ENP	LP/GLY	ENP/GLY
23/03	0,013*	0,011*	0,227
20/04	0,228	0,012*	0,013*
11/05	0,014*	0,015*	0,383

En revanche, l'abondance des Phytoseiidae, dans la modalité ENP, n'est pas significativement différente de celle observée dans la modalité GLY ($p=0,227$ le 23/03 et $p=0,383$ le 11/05), excepté le 20/04 ($p=0,013$) (cf. Tableau 8). A cette date, la diversité végétale du couvert était plus élevée qu'à l'occasion des autres prélèvements ($R=5$) et la végétation était nettement plus abondante que lors du premier prélèvement (23/03), réalisé seulement trois jours après la fauche.

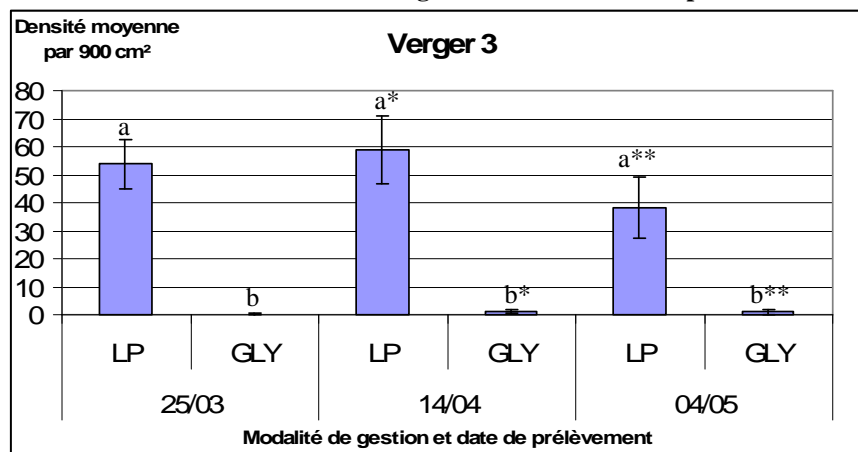
Concernant les vergers 2 et 3, le nombre d'échantillons, égal à 2, n'autorise pas l'utilisation du test de Kruskal-Wallis. Dans ce cas, on procède à un test bilatéral de Mann-Whitney (à $p=0,05$).

Tableau 9: Résultats du test bilatéral de Mann-Whitney pour le verger 2

Verger 2	06/04	27/04	18/05
ENP	0,50 ± 0,00	1,00 ± 0,71	0,50 ± 0,50
GLY	0,50 ± 0,00	1,00 ± 0,71	1,00 ± 0,41
df=2	W=6 $p=0,45$	W=8 $p=1,00$	W=5 $p=0,44$

Dans le verger 2, les effectifs de Phytoseiidae sont aussi faibles la modalité ENP que dans la modalité GLY (cf. Graphique 2). En fait, quelque soit la date de prélèvement, les modalités ENP et GLY ne diffèrent pas de façon significative ($p=0,45$ le 06/04, $p=1,00$ le 27/04 et $p=0,44$ le 18/05) (cf. Tableau 9). La moyenne des effectifs de Phytoseiidae dans l'ENP est même égale à celle du Glyphosate le 27/04 ($p=1,00$).

Graphique 4: Effectifs moyens de Phytoseiidae prélevés par cadrat (30x30cm) dans les différentes modalités d'enherbement du verger 3 aux trois dates de prélèvement



NB : Les données marquées d'une lettre différente ont des valeurs statistiquement différentes selon le test de Mann-Whitney à $p=0,05$.

Tableau 10: Résultats du test bilatéral de Mann-Whitney pour le verger 3

Verger 3	25/03	11/04	04/05
LP	53,75 ± 8,89	58,50 ± 12,11	38,25 ± 11,06
GLY	0,25 ± 0,25	1,25 ± 0,75	1,00 ± 0,71
df=2	W=16 p=2,65.e ⁻² *	W=8 p=2,94.e ⁻² *	W=5 p=2,94.e ⁻² *

Dans le verger 3, à chaque prélèvement, les modalités LP et GLY sont significativement différentes ($p=2,65.e^{-2}$ le 25/03, $p=2,94.e^{-2}$ le 11/04 et $p=2,94.e^{-2}$ le 04/05), ce qu'on devine à la lecture du graphique 3.

Un test de Mann-Whitney unilatéral (à $p=0,05$) (cf. Tableau 11) précise que la moyenne des effectifs récoltés dans la modalité GLY était, de façon systématique, significativement inférieure à celle des prélèvements effectués dans la modalité LP.

Tableau 11: Résultats du test unilatéral de Mann-Whitney (à $p=0,05$) pour le verger 3

Verger 3	LP/ENP
25/03	p=1,32e ⁻² *
11/04	p=1,47e ⁻² *
04/05	p=1,47e ⁻² *

Globalement, dans l'ensemble des vergers étudiés, la modalité LP (*Neonotonia* pérenne) abrite significativement plus de Phytoseiidae que la modalité Glyphosate. Il semblerait également que la modalité ENP (Enherbement Naturel Pérenne) soit moins favorable aux Phytoseiidae que la modalité LP. Son impact sur la population de Phytoseiidae s'assimile davantage à celui de la modalité GLY. Toutefois, le prélèvement du 20/04, date à laquelle l'ENP n'était pas significativement différent de la LP, laisse à penser que les conditions offertes par un enherbement donné peuvent varier dans le temps et, en conséquence, faire varier les effectifs de Phytoseiidae. L'impact que peuvent avoir les opérations d'entretien, telles que la fauche ou l'application de Glyphosate, sur les Phytoseiidae, est donc à prendre en compte.

b) Impact des opérations d'entretien de l'enherbement sur l'abondance des Phytoseiidae de l'inter-rang

De la même façon que celle utilisée pour comparer l'abondance de Phytoseiidae entre des enherbement différents, on considère l'évolution des effectifs de Phytoseiidae, au sein d'une modalité d'enherbement donnée. Un test de Kruskal-Wallis (à $p=0,05$) permet de déterminer s'il existe des différences significative d'abondance, entre les trois dates de prélèvement.

Tableau 12: Résultats du test de Kruskal-Wallis (à $p=0,05$) comparant les effectifs de Phytoseiidae aux différentes dates de prélèvement dans le verger 1

Verger 1	LP	ENP	GLY
20/03		Fauche	Glyphosate
23/03	13,25 ± 2,02	0,50 ± 0,50 a	0,00 ± 0,00
20/04	7,50 ± 0,87	9,50 ± 4,87 b	0,25 ± 0,25
11/05	14 ± 4,42	2,50 ± 1,19 a	1,75 ± 1,44
df=2	H=5,44 p=0,07	H=6,79 p=0,03*	H=2,92 p=0,27

Dans le verger 1, l'abondance des Phytoseiidae est stable d'un relevé à l'autre, pour les modalités LP (H=5,44, $p=0,07$) et GLY (H=2,92, $p=0,27$) (cf. Tableau 12).

En revanche, il existe une différence significative d'abondance au sein des trois prélèvements effectués dans l'ENP ($p=0,03$). Un test, *a posteriori*, de Mann-Whitney (unilatéral, à $p=0,05$) précise que la variation significative d'abondance intervient entre le 23/03 et le 20/04, et que les Phytoseiidae sont significativement plus nombreux le 20/04 ($p=1,33e^{-2}$, $H_A : \mu_{23/03} < \mu_{20/04}$) à mesure que l'on s'éloigne de la fauche. L'étude de la composition végétale de l'enherbement, à cette date, a révélé une richesse spécifique supérieure à celle observée le 23/03 (R=2,75 le 23/03, R=5,5 le 20/04) et la biomasse était sensiblement plus importante (estimation visuelle).

Tableau 13: Résultats du test de Kruskal-Wallis (à $p=0,05$) comparant les effectifs de Phytoseiidae aux différentes dates de prélèvement dans le verger 2

Verger 2	ENP	GLY
06/04	0,50 ± 0,00	0,50 ± 0,00
14/04	-	<i>Glyphosate</i>
21/04	<i>Fauche</i>	-
27/04	1,00 ± 0,71	1,00 ± 0,71
18/05	0,50 ± 0,50	1,00 ± 0,41
df=2	H=2,39 p=0,30	H=0,66 p=0,72

Tableau 14: Résultats du test de Kruskal-Wallis (à $p=0,05$) comparant les effectifs de Phytoseiidae aux différentes dates de prélèvement dans le verger 3

Verger 3	LP	GLY
25/03	53,75 ± 8,89	0,25 ± 0,25
26/03	-	<i>Glyphosate</i>
11/04	58,50 ± 12,11	1,25 ± 0,75
04/05	38,25 ± 11,06	1,00 ± 0,71
df=2	H=1,08 p=0,58	H=1,12 p=0,57

Les vergers 2 et 3 confirment la stabilité des effectifs dans la modalité Glyphosate ($p=0,72$ dans le verger 2, $p=0,57$ dans le verger 3) (cf. Tableau 13 et 14). La population, dans la modalité Glyphosate, reste à un niveau très faible tout au long de l'expérimentation ($0,83 \pm 0,12$ individus par 900cm^2 en moyenne à chaque prélèvement dans le verger 2, $0,83 \pm 0,26$ dans le verger 3). La population étant déjà très faible avant l'application, il se pourrait que la recolonisation de l'inter-rang par les Phytoseiidae soit trop lente par rapport à la fréquence d'application.

Dans le verger 2, la modalité ENP conserve un faible effectif de Phytoseiidae (0,66 Phytoseiidae par 900cm^2 en moyenne par prélèvement) du premier au dernier prélèvement (cf. Tableau 13). L'abondance de Phytoseiidae, avant le 21/04, est si faible ($0,50 \pm 0,00$ Phytoseiidae par 900cm^2) (cf. Tableau 13) qu'il est difficile de percevoir un quelconque impact de la fauche.

La modalité LP du verger 3 conserve une population à la fois stable et abondante durant toute la phase de prélèvement ($p=0,58$) comme elle le fait dans le verger 1 (cf. Tableau 14). Il semble que l'implantation d'un couvert de légumineuse pérenne, telle que le *Neonotonia*, soit une bonne solution pour maintenir un effectif abondant et stable de Phytoseiidae.

Tableau 15: Synthèse des indices de diversité par modalité et par date de prélèvement dans le verger 1

	Modalité	Effectif	R	H'[0 ; log S]	J [0 ; 1]	1-D [0 ; 1]	1-Hill [0;1]
23/03	LP	53	7	2,24	0,80	0,76	0,56
	ENP	2	2	1,00	1,00	1,00	NA
	GLY	0	0	NA	NA	NA	NA
20/04	LP	30	6	1,98	0,77	0,71	0,52
	ENP	38	7	2,07	0,74	0,67	0,62
	GLY	1	1	0,00	NA	NA	NA
11/05	LP	56	5	2,12	0,91	0,78	0,46
	ENP	10	4	1,57	0,79	0,64	0,42
	GLY	7	2	0,59	NA	0,29	0,23

NA signifie que l'indice n'a pas pu être calculé

S le nombre total d'espèce

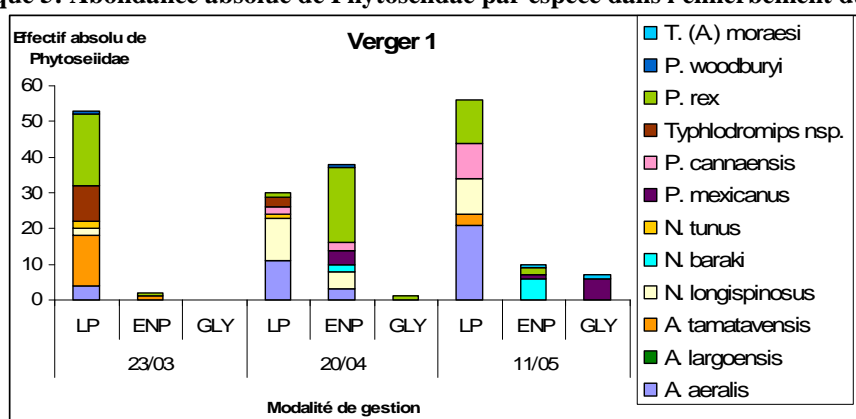
H' l'indice de Shannon-Weaver

J l'indice d'équitabilité de Pielou

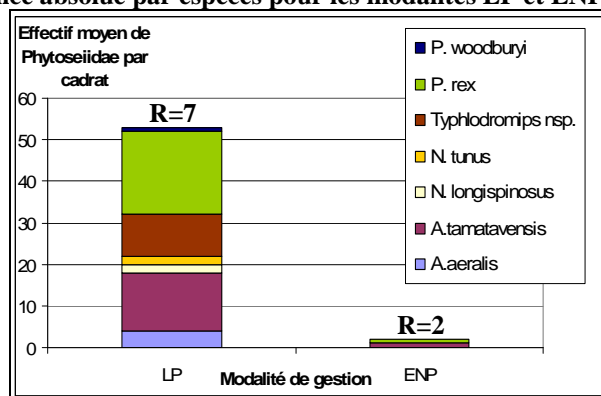
1-D soit 1-l'indice de Simpson

1-Hill soit 1-l'indice de Hill lequel intègre à la fois H' et D

Graphique 5: Abondance absolue de Phytoseiidae par espèce dans l'enherbement du verger 1



Graphique 6 : Abondance absolue par espèces pour les modalités LP et ENP du verger 1 le 23/03



2) Diversité des Phytoseiidae de l'inter-rang selon le type d'enherbement

La diversité existant au sein de la communauté des Phytoseiidae a été approchée par l'intermédiaire de trois indices de diversité : l'indice de Shannon-Weaver (H'), l'indice de Simpson (D) et l'indice de Hill (1-Hill). L'indice de Shannon-Weaver est complété par l'indice d'équitabilité de Pielou (J).

a) Impact du type d'enherbement sur la diversité des Phytoseiidae de l'inter-rang

Seules les données du verger 1 et du verger 3 sont prises en compte car les échantillons collectés dans le verger 2 présentent des effectifs trop faibles pour que l'on puisse calculer leur diversité spécifique.

Dans le verger 1 (cf. Tableau 15), la modalité LP abrite un plus grand nombre d'espèces de Phytoseiidae ($R=6,0$ en moyenne) que l'ENP ($R=4,3$) et que la modalité GLY ($R=1,0$).

- **Le 23/03**, selon les indices de Shannon-Weaver (H') et Hill (1-Hill), **la diversité spécifique dans la modalité LP est supérieure à celle observée dans l'ENP, elle-même plus grande que celle de la modalité GLY (cf. Tableau 15).**

L'indice de diversité de Simpson (1- D) est, en revanche, meilleur pour la modalité ENP que pour la modalité LP ($(1-D)_{LP}=0,76$ et $(1-D)_{ENP}=1,00$).

On accordera toutefois plus de crédit aux indices de Shannon-Weaver et Hill, dans ce cas de figure, car la structure particulière ($N=R=2$) du peuplement de l'échantillon ENP du 23/03 illustre une des faiblesses de l'indice de Simpson. En accordant autant d'importance à la distribution équitable des effectifs entre les espèces, il donne une appréciation excessivement bonne de la diversité spécifique alors qu'en réalité, l'abondance absolue et la richesse spécifiques sont faibles. Le graphique 8, confirme visuellement l'appréciation donnée par les indices de Shannon-Weaver et Hill.

- **Le 20/04**, l'abondance et la richesse spécifique (R) des Phytoseiidae sont supérieures dans l'ENP par rapport à la LP. En conséquence, l'indice de Shannon est légèrement meilleur pour l'ENP ($H'_{LP}=1,98$; $H'_{ENP}=2,07$; $H'_{GLY}=0,00$) (cf. Tableau 15).

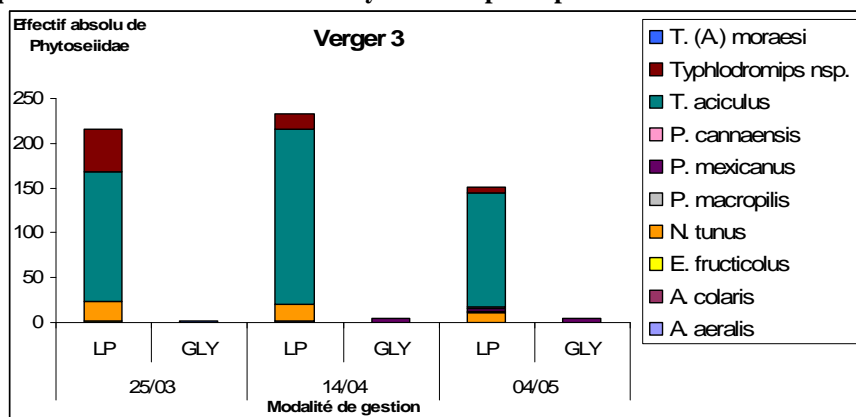
En revanche, les valeurs des indices de Pielou (J) et de Simpson (1- D), légèrement plus faibles pour la modalité ENP que pour la modalité LP, indiquent que l'échantillon ENP abritent certes plus d'espèces que l'échantillon LP mais qu'il s'agit d'espèces minoritaires dont les représentants ne sont présents qu'en petit nombre.

- **Le 11/05**, les trois indices de diversité concordent lorsqu'ils indiquent une diversité spécifique croissante de la modalité Glyphosate à la modalité LP en passant par la modalité ENP.

Tableau 16: Synthèse des indices de diversité par modalité et par date de prélèvement dans le verger 3

	Modalité	Effectif	R	H'[0 ; log S]	J [0 ; 1]	1-D [0,1]	1-Hill [0,1]
25/03	LP	215	4	1,23	0,61	0,48	0,43
	GLY	1	1	0,00	NA	NA	NA
14/04	LP	233	5	0,84	0,36	0,28	0,40
	GLY	5	1	0,00	NA	0,00	0,00
04/05	LP	151	6	0,94	0,36	0,29	0,45
	GLY	4	1	0,00	NA	0,00	0,00

Graphique 7 : Abondance absolue de Phytoseiidae par espèce dans l'enherbement du verger 3



Dans le verger 3, à chaque date de prélèvement, une seule espèce a été collectée dans la modalité Glyphosate. Il s'agit de *Typhlodromus (Anthoseius) moraesii* (Kreiter et Ueckermann) le 25/03 et de *P. mexicanus* le 14/04 et le 04/05 (cf. Tableau 16 et Graphique 8). L'abondance et la richesse spécifique des Phytoseiidae étaient largement supérieures dans la modalité LP (200 Phytoseiidae par 900cm² en moyenne dans la LP contre 3 dans la modalité GLY et R=5 espèces en moyenne contre 1 dans la modalité GLY). Les trois indices de diversité indiquent la même tendance : la diversité spécifique est plus grande dans la modalité LP que dans la modalité ENP et elle est plus grande dans la modalité ENP que dans la modalité GLY (cf. Tableau 16).

b) Impact des opérations d'entretien sur l'évolution de la diversité des Phytoseiidae de l'enherbement

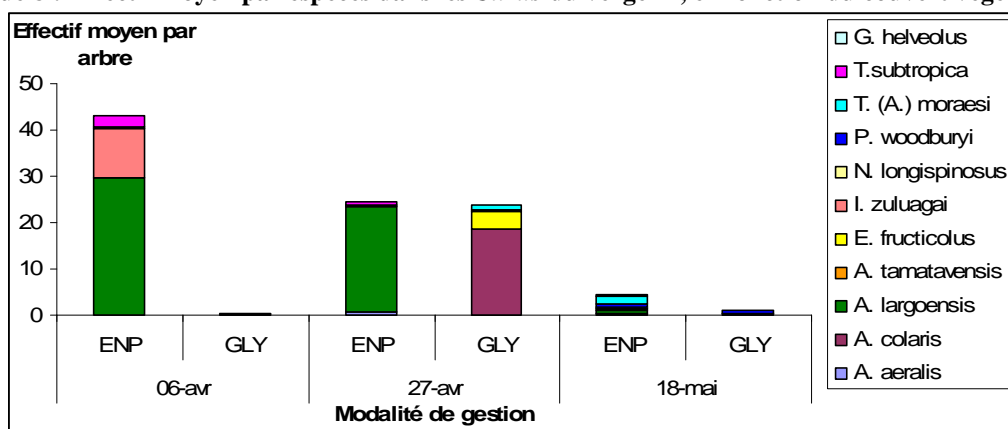
Compte tenu de la faiblesse des effectifs collectés dans la modalité GLY, quelque soit le verger étudié, il est difficile de conclure quant à l'impact de l'application régulière de Glyphosate sur la diversité des Phytoseiidae.

Toutefois, sachant que la diversité spécifique prend en compte l'abondance des Phytoseiidae, et ayant démontré, statistiquement, que l'abondance des Phytoseiidae était significativement plus faible dans cette modalité que dans les modalités enherbées, on peut légitimement supposer qu'elle nuit indirectement à la diversité spécifique des Phytoseiidae

Tableau 17: Effectif moyen et SE par modalité dans les *Citrus* du verger 2

	06/04	27/04	18/05
ENP	9,75 ± 2,06	15,50 ± 3,97	21,50 ± 3,28
GLY	6,75 ± 2,93	11,00 ± 2,71	16,25 ± 3,45

Graphique 8 : Effectif moyen par espèces dans les *Citrus* du verger 2, en fonction du couvert végétal



C. Le peuplement du compartiment '*Citrus*'

L'étude du peuplement des *Citrus* est nécessaire puisque c'est dans ce compartiment que la lutte biologique doit s'exercer. Les effectifs, collectés dans le verger 1 (8 individus sur l'ensemble des prélèvements) et le verger 3 (20 individus) étaient trop faibles pour que l'on puisse différencier l'impact des différents modes de gestion sur l'abondance et la diversité. En revanche, avec 322 individus collectés dans les *Citrus*, à l'issue des trois prélèvements, les données du verger 2 se prêtaient à cette étude.

1) Abondance des Phytoseiidae dans les *Citrus*

a) Impact du type d'enherbement sur l'abondance des Phytoseiidae des *Citrus*

Le graphique 9 et le tableau 17 indiquent, qu'à chaque prélèvement, il y avait davantage de Phytoseiidae dans les arbres de la modalité ENP que dans les arbres maintenus en sol nu (modalité GLY). Toutefois ces différences ne sont pas statistiquement significatives comme le montre les résultats du test de Kruskal-Wallis (à $p=0,05$) (cf. Tableau 18). Les p -values de chaque échantillons sont supérieures au seuil d'acceptabilité fixé à 0,05.

Tableau 18: Résultats du test bilatéral de Mann-Whitney (à $p=0,05$) comparant les effectifs de Phytoseiidae dans les *Citrus* des différentes modalités d'enherbement du verger 2

Verger 2	06/04	27/04	18/05
ENP/GLY	W=10,5	W=13	W=12
	p=0,56	p=0,19	p=0,34
df=2			

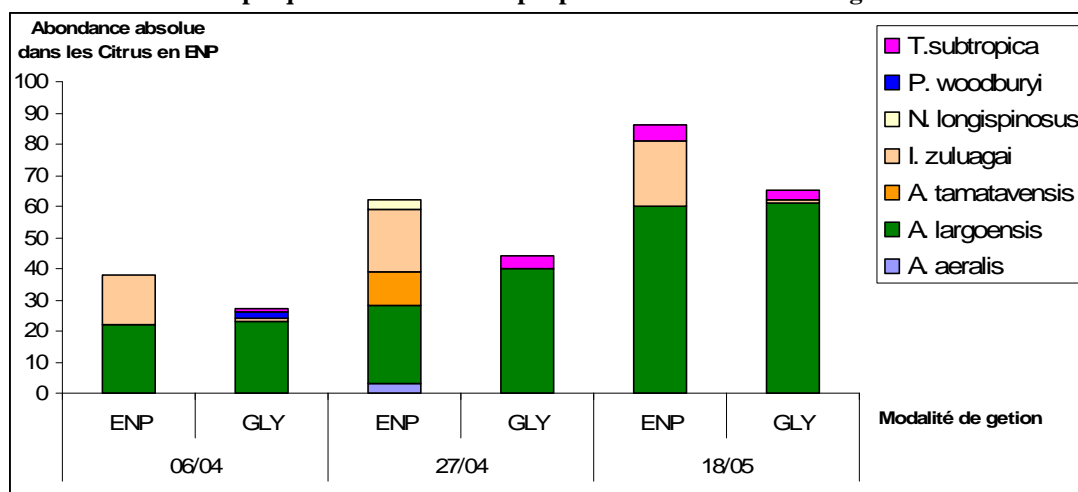
b) Evolution des effectifs de Phytoseiidae dans les *Citrus*

D'après les résultats du test de Kruskal-Wallis comparant les effectifs de Phytoseiidae dans les *Citrus* à différentes dates de prélèvement (cf. Tableau 19), le peuplement des *Citrus* est stable dans le temps, quelque soit la modalité d'enherbement testée ENP ou GLY. Les opérations d'entretien du couvert ne semblent pas perturber le peuplement des arbres.

Tableau 19: Résultats du test de Kruskal-Wallis (à $p=0,05$) comparant les effectifs de Phytoseiidae, dans les *Citrus* d'une modalité donnée, à différentes dates de prélèvement

Verger 2	ENP	GLY
06/04	9,75 ± 2,06	6,75 ± 2,93
14/04	-	Glyphosate
21/04	Fauche	-
27/04	15,50 ± 3,97	11,00 ± 2,71
18/05	21,50 ± 3,28	16,25 ± 3,45
df=2	H=4,95 p=0,08	H=5,84 p=0,05

Graphique 9 : Evolution du peuplement des *Citrus* du verger 2



2) Diversité au sein des Phytoseiidae des Citrus selon le type d'enherbement

a) Impact du type d'enherbement sur la diversité des Phytoseiidae des *Citrus*

Tableau 20: Indices de diversité pour les modalités ENP et GLY du verger 2 aux trois dates de prélèvement

	Modalité	Effectif	R	H'[0 ; log S]	J [0 ; 1]	1-D [0 ; 1]	1-Hill [0 ; 1]
06/04	ENP	38	2	0,98	0,98	0,50	0,25
	GLY	27	4	1,38	0,69	0,28	0,65
14/04	ENP	Fauche					
21/04	GLY	Glyphosate					
27/04	ENP	62	5	1,92	0,83	0,71	0,50
	GLY	44	2	0,44	0,44	0,17	0,22
18/05	ENP	86	3	1,10	0,69	0,46	0,39
	GLY	65	3	0,38	0,24	0,12	0,23

On note une dominance forte, tout au long de l'expérimentation, d'*A. largoensis*, quelque soit modalité d'enherbement. Il représente 58% des Phytoseiidae collectés dans les citrus de l'ENP et 91% des Phytoseiidae collectés dans la modalité GLY (cf. Graphique 10).

Iphiseiodes zuluagai est aussi très présent, dans les Citrus de la modalité ENP (cf. Graphique 10). Il représente, en moyenne, à chaque prélèvement dans les Citrus de la modalité GLY, 33% des individus collectés.

Globalement, les Citrus de la modalité ENP semble abriter une diversité de Phytoseiidae plus grande que les Citrus de la modalité GLY. Cela se vérifie pour les prélèvements du 27/04 et du 18/05, avec des indices de diversité globalement meilleurs pour les *Citrus* de la modalité ENP (cf. Tableau 20,)

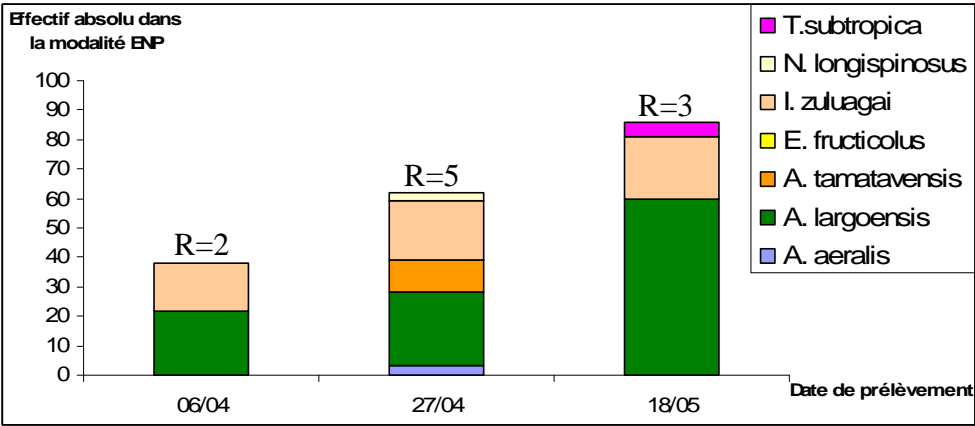
Seul le prélèvement du **06/04**, présente un échantillon GLY doté d'un indice de Shannon-Weaver et d'un indice de Hill meilleurs que pour l'ENP ($H'_{ENP}=0,98$ contre $H'_{GLY}=1,38$ et $(1-Hill)_{ENP}=0,25$ contre $(1-Hill)_{GLY}=0,65$). En fait, ceci est dû à la présence de trois espèces minoritaires dans l'échantillon de la modalité Glyphosate (*I. zuluagai*, *P. woodburyi* et *T. subtropica*). L'indice de Shannon-Weaver accorde un poids important à ces espèces dites « rares », dans le calcul de la diversité, alors que l'indice de Simpson ne les prend pas en compte.

Lors du prélèvement du **27/04**, l'échantillon ENP présente une abondance et une richesse spécifique supérieure à celle de l'échantillon GLY ($N_{ENP}=62$, $N_{GLY}=44$ et contre $R_{ENP}=5$ contre $R_{GLY}=2$). Les espèces sont globalement mieux réparties que dans l'échantillon Glyphosate ($J_{ENP}=0,83$, $J_{GLY}=0,44$). Ainsi les indices de Shannon-Weaver et Simpson concordent et indiquent une diversité plus grande dans l'ENP

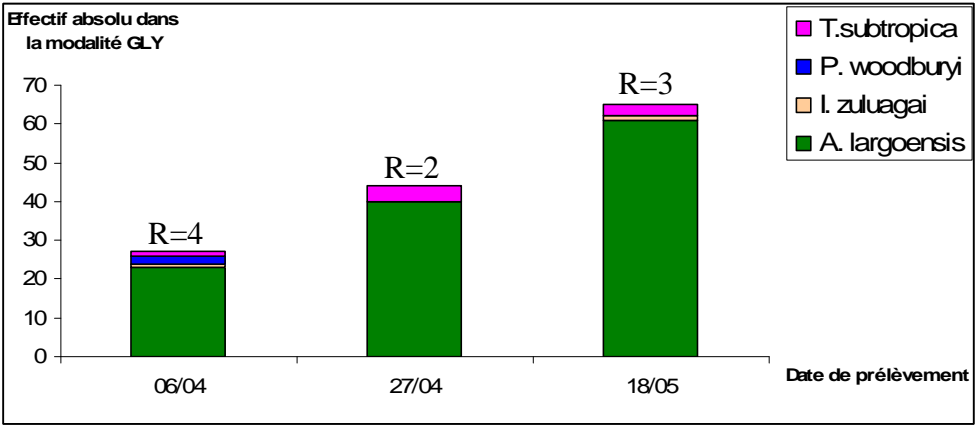
De même lors du prélèvement du **18/05**, à richesse spécifique égale ($R=3$), la distribution des effectifs est plus équitable dans l'échantillon ENP ($J_{ENP}=0,69$, $J_{GLY}=0,24$ et $(1-D)_{ENP}=0,46$, $(1-D)_{GLY}=0,12$).

Les Citrus en ENP semblent donc abriter une population plus diversifiée que les arbres entretenus en sol nu (modalité GLY).

Graphique 10 : Evolution de la diversité des Phytoseiidae dans les Citrus de la modalité ENP du verger 2



Graphique 11 : Evolution de la diversité des Phytoseiidae dans les Citrus de la modalité GLY du verger 2



b) Evolution de la diversité spécifique au sein des Phytoseiidae des Citrus.

Tableau 21: Synthèse des indices de diversité pour la population des Citrus en ENP, à différentes dates, dans le verger 2

	Effectif	R	H'	J	1-D	1-Hill
06/04	38	2	0,98	0,98	0,50	0,25
14/04	Fauche					
27/04	62	5	1,92	0,83	0,71	0,50
18/05	86	3	1,10	0,69	0,46	0,39

Dans le verger 2, la fauche de la modalité ENP intervient une semaine avant le deuxième prélèvement. Entre le premier prélèvement (06/04) et le second (14/04), on note une augmentation de la richesse spécifique R qui passe de 2 à 5 (cf. Tableau 21) avec l'apparition d'*Amblyseius tamatavensis* (17% de l'effectif à cette date) et d'*Amblyseius aeralis* (5 % de l'effectif) (cf. Graphique 11).

Leur apparition, dans le prélèvement du 14/04 augmente fortement l'indice de Shannon (H'), sensible à la présence d'espèces minoritaires, et son complément l'indice d'équidistribution de Pielou (J).

En revanche, l'indice de Simpson ne varie pratiquement pas, entre le 06/04 et le 14/04, car cet indice n'accorde qu'un poids négligeable aux espèces minoritaires.

Hill synthétise l'information apportée par les indices de Shannon et de Simpson. Si l'indice de Hill augmente à l'apparition des deux nouvelles espèces le 14/04, c'est parce qu'il intègre dans sa formule l'indice de Shannon, sensible aux espèces rares, sous la forme d'une exponentielle.

Il serait possible d'attribuer cette augmentation de la diversité des Phytoseiidae à l'augmentation de la diversité végétale suivant la fauche. Toutefois, compte tenu du faible nombre de répétitions, il faut considérer ce résultat avec prudence.

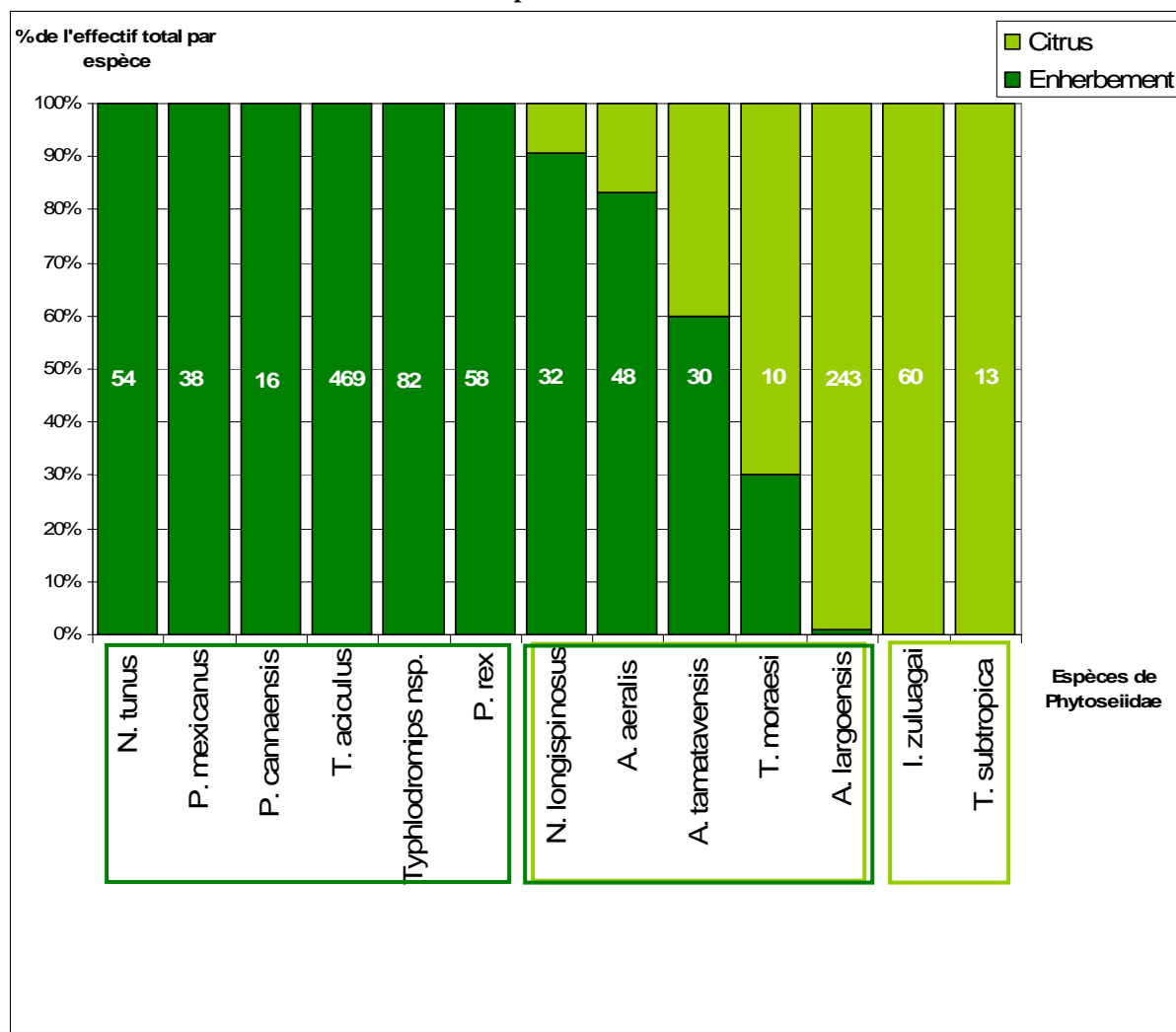
Placer les prélèvements, de préférence, la veille de l'intervention et les jours suivants, avec un plus grand nombre de répétitions, permettrait peut-être de mieux percevoir l'impact de la fauche.

Tableau 22 : Synthèse des indices de diversité pour la population des Citrus de la modalité GLY, à différentes dates, dans le verger 2

	Effectif	R	H'	J	1-D	1-Hill
06/04	27	4	1,38	0,69	0,28	0,65
14/04	Application de Glyphosate					
27/04	44	2	0,44	0,44	0,17	0,22
18/05	65	3	0,38	0,24	0,12	0,23

Dans le verger 2, les trois indices de diversité (H', 1-D et 1-Hill) ainsi que l'indice d'équitabilité (J) sont plus faibles après le 14/04, date à laquelle le Glyphosate a été appliqué (cf. Tableau 22). Toutefois, là encore, compte tenu du faible nombre de répétition, il est difficile d'attribuer cette diminution de diversité spécifique, dans les *Citrus*, à la suppression du couvert végétal de l'inter-rang.

Graphique 12 : Distribution des espèces de Phytoseiidae entre le compartiment "enherbement" et le compartiment "Citrus"



D. Comparaison des peuplements des deux compartiments

L'enherbement inter-rang est favorisé, ou implanté, pour jouer le rôle de réservoir à Phytoseiidae, destinés à coloniser les *Citrus* pour y consommer les acariens phytophages. Il est question, dans cette partie, de savoir quelles espèces se situent dans l'un et l'autre des deux compartiments. Sont-elles les mêmes? Quelles sont les habitudes alimentaires des Phytoseiidae présents dans les *Citrus*, sont-ils de potentiels agents de lutte biologique ?

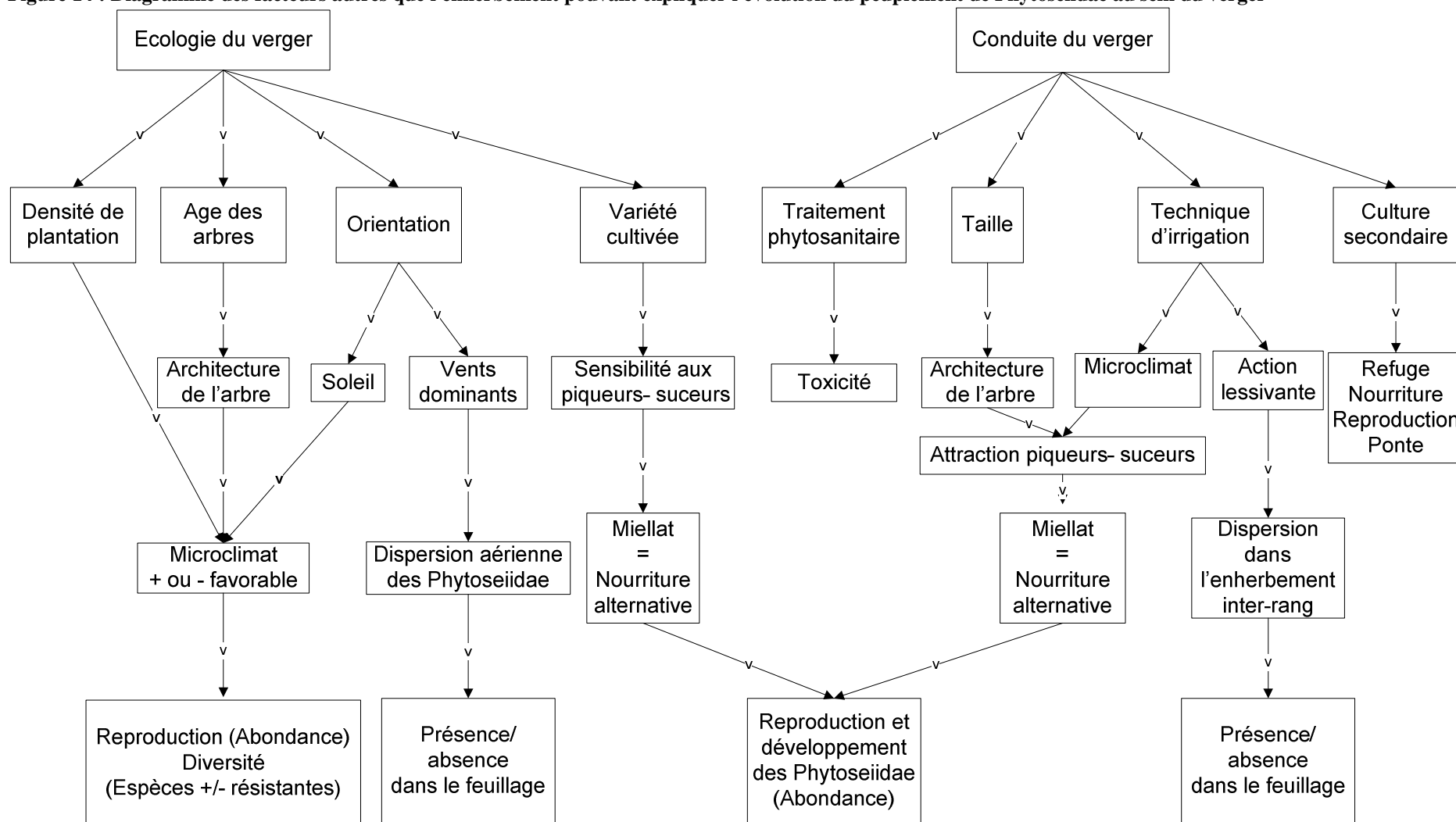
Le graphique 13 ne présente que les espèces dont l'effectif excédait dix individus.

Les cinq espèces, rencontrées à la fois dans l'enherbement et dans le feuillage des agrumes (*A.aerialis*, *A.largoensis*, *A.tamatavensis* et *T.(Anthoseius)moraesi*), ne rassemblent que des prédateurs généralistes. Les généralistes sont particulièrement intéressants dans une optique de protection à long terme du verger. Leur capacité à se nourrir à partir d'une large palette de nourritures (insectes, miellat, exsudats, pollen...), leur permet de survivre, même en l'absence de proies. Les Phytoseiidae généralistes étant présents, en permanence, dans le verger, ils agissent à une faible densité d'acariens phytophages, avant que les dégâts occasionnés aux agrumes ne soient préjudiciables.

Parmi les Phytoseiidae fréquentant les deux compartiments, seul *A. tamatavensis* (Blommers) semble être réellement intéressant en tant qu'agent de lutte biologique. Il a été observé à Cuba et au Brésil se nourrissant de *P.latus* sur papayer (Ramos and Rodriguez 1997, Collier et al. 2004).

Amblyseius aeralis, quant à lui, est connu pour consommer des Tetranychidae, des Tenuipalpidae et probablement d'autres familles d'acariens (Zemek, 2005). Même si les Tetranychidae ne sont pas des acariens phytophages nuisibles, à proprement parler, il est nécessaire de les réguler. Parmi eux, *Panonychus citri* est un Tetranychidae couramment rencontrés dans les vergers d'agrumes guadeloupéens.

Figure 14 : Diagramme des facteurs autres que l'enherbement pouvant expliquer l'évolution du peuplement de Phytoseiidae au sein du verger



Discussion

La multiplicité des sites constitue à la fois la force et la faiblesse de cette expérimentation. L'hétérogénéité des écologies ne permet pas de comparer les résultats des différents vergers. En revanche, multiplier les sites donne accès à d'autres informations que celles obtenues en station. Ainsi, neuf espèces supplémentaires de Phytoseiidae ont été recensées et Cela permet aussi d'appréhender la complexité de l'interaction 'pratiques culturales/écologie du site/peuplement de Phytoseiidae'. La variation de la structure du peuplement, d'un site à l'autre, incite à relativiser l'impact attribué à la modalité d'enherbement et à son entretien. Enfin, réaliser un essai multi-local permet d'apprécier la faisabilité de la LBGCH, dans des écologies différentes, dans l'éventualité d'une expansion de cette technique à l'ensemble du bassin de production agrumicole (Sud Basse-Terre).

D'une manière générale, les résultats obtenus à l'issue de cette expérimentation concordent avec les résultats obtenus en station en 2008 (Mailloux *et al.*, 2009), même si les tendances observées sont souvent moins nettes et sujettes à caution à cause du faible nombre de répétitions et des nombreux facteurs non maîtrisés pouvant influencer sur l'évolution du peuplement.

La variation du peuplement de Phytoseiidae, entre les différents vergers étudiés, laisse à penser que l'écologie du verger détermine en grande partie la présence, l'abondance et la diversité des Phytoseiidae. La figure 14 illustre certains facteurs extérieurs pouvant potentiellement influencer le peuplement de Phytoseiidae du verger. Sachant que durant l'expérimentation, un niveau de perturbation minimal a été maintenu (pas de traitement, de taille ou d'opération culturale autre que celles pratiquées sur le couvert végétal) (cf. Annexe IV, VI et VIII), il est probable que les facteurs impliqués soient ceux qui agissent sur le microclimat (Rosenberg, 1984, Auger *et al.*, 1997). Citons l'exposition du verger au soleil ou aux vents dominants ainsi que la densité de plantation et la technique de taille, qui conditionnent l'ensoleillement et la ventilation du verger. Un microclimat chaud et sec est considéré comme défavorable aux Phytoseiidae (Rosenberg, 1984, Auger *et al.*, 1997).

Le verger 2 est exceptionnel, du fait du contraste entre les effectifs de Phytoseiidae présents dans les arbres, et ceux occupant l'enherbement inter-rang (95% des Phytoseiidae, collectés dans ce verger, se trouvaient dans le feuillage des arbres). L'hypothèse la plus probable, pouvant expliquer cette distribution, réside dans la technique d'irrigation utilisée. Les *Citrus* du verger 2 sont irrigués par micro-aspersion, sous la frondaison. Cette technique permettrait de:

- maintenir une humidité, favorable aux Phytoseiidae, à l'intérieur de la frondaison
- ne pas perturber les Phytoseiidae par une action de lessivage
- favoriser la production de nourriture alternative pour les Phytoseiidae, sous forme de miellat, produit par des insectes piqueurs-suceurs attirés par l'humidité ambiante

Les *Citrus* du verger 2 étaient effectivement infestés d'aleurodes et couverts de fumagine, preuve que du miellat avait été sécrété en abondance.

Les arbres du verger 3, quant à eux, sont irrigués par aspersion mécanique. Il pourrait s'agir d'une méthode très perturbante pour les Phytoseiidae, exerçant sur eux une action de lessivage, semblable à celle d'une grosse pluie. Ceci expliquerait, en partie, la faiblesse des

effectifs collectés. En ce qui concerne le verger 1, les *Citrus* sont irrigués au pied. Cette technique n'aurait, *a priori*, aucun impact particulier sur les Phytoseiidae.

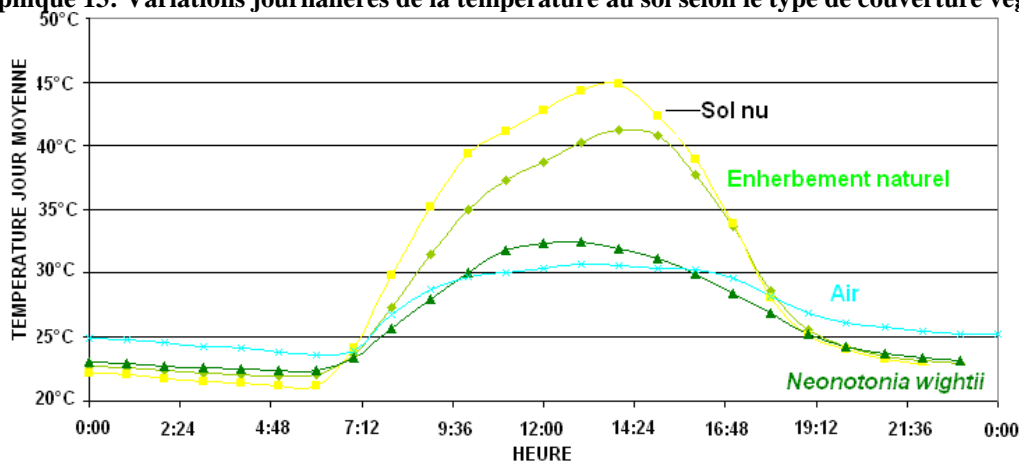
Il se pourrait que l'abondance de miellat, à disposition des Phytoseiidae, dans le verger 2, nuise à leur efficacité contre les acariens phytophages. En effet, en 2005, Zemer a démontré que la consommation de proies par *Typhlodromus pyri* (Scheuten) était significativement moindre, lorsque celui-ci pouvait s'alimenter à partir d'une nourriture alternative, en l'occurrence *Plasmopara viticola* sur vigne.

Concernant l'impact du mode de gestion de l'enherbement sur les Phytoseiidae, la couverture de *Neonotonia* pérenne (LP) est apparue comme étant la modalité la plus favorable. Elle en abritait davantage que l'enherbement naturel pérenne (ENP) ou l'inter-rang entretenu à l'herbicide. De plus, la population dans le *Neonotonia* pérenne était plus stable que celle implantée dans l'enherbement naturel pérenne

Le couvert de *Neonotonia* pérenne présente deux caractéristiques intéressantes pour la conservation des Phytoseiidae:

- (1) son caractère volubile lui confère un pouvoir occultant très fort vis-à-vis des rayons du soleil. La température au sein du *Neonotonia* est donc plus fraîche et plus stable qu'à l'intérieur d'un enherbement naturel (cf. Figure 13).

Graphique 13: Variations journalières de la température au sol selon le type de couverture végétale



(Données 2008 des capteurs Tiny-Tag installés dans le verger 1-Mailloux, UR Horsys)

- (2) le *Neonotonia* est une légumineuse, et il semblerait que le pollen de certaines légumineuses soit plus favorable que celui des Poacées au développement et à la reproduction des Phytoseiidae (Grafton-Caldwell *et al* ; 1999). De plus, *N. wightii* présente la particularité de fleurir presque toute l'année.
- (3) Ses feuilles sont pubescentes, et peuvent retenir l'eau ainsi que le pollen, utiles à l'alimentation des Phytoseiidae

Dans les vergers 1 et 2, l'abondance des Phytoseiidae, dans l'enherbement naturel pérenne (ENP), ne différait pas de façon significative de celle observée dans la modalité Glyphosate (excepté le 20/04 dans le verger 1).

Dans le verger 2, cela peut s'expliquer par l'arrêt tardif des herbicides (début décembre 2008) permettant au couvert de s'implanter. Il est toutefois intéressant de constater

que la colonisation du verger est relativement rapide (quelques mois) à partir de l'arrêt des herbicide.

Il est possible également, dans l'un et l'autre des vergers, qu'une fauche trop courte, supprime, de façon aussi radicale qu'une application de Glyphosate, la totalité des refuges et des sites de ponte ainsi que les réserves de nourriture. De fait, compte tenu de la croissance extrêmement rapide de la végétation, en climat tropical, les producteurs n'hésitent pas à couper l'herbe très rase.

Concernant la diversité des Phytoseiidae, dans les différents types d'enherbement inter-rang, le *Neonotonia* pérenne et l'enherbement naturel pérenne se sont révélés plus favorables à une diversité spécifique élevée que l'enherbement dés herbé au Glyphosate. En revanche, il était difficile de distinguer ces deux modalités. Le résultat peut paraître surprenant sachant que la diversité végétale favorise la diversité des organismes qui y vivent (Simon, 2009). La couverture de *Neonotonia* pérenne étant monospécifique on aurait pu s'attendre, en effet, à ce que le peuplement de Phytoseiidae soit significativement moins diversifié que celui de l'ENP, ce qui n'est pas le cas. On peut supposer, dans ce cas, que le *Neonotonia* est capable de fournir une alimentation adaptée (pollen ou proies facultatives) à une large palette d'espèces de Phytoseiidae ou qu'il offre une structure foliaire (trichomes et domaties) adaptée au plus grand nombre.

Concernant l'impact de la gestion de l'enherbement, sur la fréquentation des *Citrus* par les Phytoseiidae, les résultats n'ont pas révélé de différences significatives d'abondance d'une modalité de gestion à l'autre. Sachant que la gestion de l'enherbement perturbe le peuplement de l'enherbement, on aurait pu imaginer un transfert de population, vers les Citrus, au moment de l'intervention. Cela avait été suggéré par Pereira *et al.* en 2006. Dans notre cas, il est plus probable qu'il n'y ait pas (ou alors peu) de transferts d'individus entre enherbement et arbres. Cela amène deux questions :

- (1) **Comment vérifier que la présence d'une espèce, à la fois dans l'enherbement et dans les Citrus, résulte bien d'un flux d'individus et qu'il ne s'agit pas de deux sous-populations indépendantes ?**

Avec les moyens disponibles, il eut été possible, d'observer et de comptabiliser les mouvements de Phytoseiidae, par l'intermédiaire d'un support collant (noir de préférence pour faciliter l'observation), appliqué sur le tronc des agrumes, par exemple.

Autrement, la biologie moléculaire permet de s'assurer qu'il s'agit bien des mêmes individus que l'on retrouve dans l'un et l'autre des compartiments. La technique de l'amplification aléatoire d'ADN polymorphe (RAPD) permet de mesurer la distance génétique entre les échantillons de populations provenant des *Citrus* et celle retrouvée dans l'enherbement (Tixier *et al.*, 2002).

- (2) **Comment améliorer la connectivité entre les deux compartiments afin de faciliter le flux de Phytoseiidae ?**

Il serait envisageable d'optimiser la gestion du *Neonotonia* pérenne, afin de permettre, ou de faciliter, le transfert des Phytoseiidae de l'enherbement vers *Citrus* et *vice-versa*. Il est tout à fait faisable, par exemple, lors de l'opération de détournement (suppression de la végétation sous la frondaison) de placer le *Neonotonia* arraché, dans les *Citrus*. Dès que les débris de *Neonotonia* se dessèchent, les Phytoseiidae qu'il abrite pourraient éventuellement coloniser la frondaison si le milieu 'citrus' leur convient.

Concernant l'impact de la gestion de l'enherbement sur les Phytoseiidae des *Citrus*, il n'y a pas d'impact avéré de l'application de Glyphosate. En revanche, une augmentation de l'abondance et de la diversité des Phytoseiidae du feuillage a été observée juste après la

fauche de l'enherbement naturel pérenne. Pozzebon *et al.* (2005) ont montré que la fauche augmente la quantité de pollen, transporté par le vent, jusque dans le feuillage des agrumes et Villanueva et Childers (2004) ont mis en évidence que la population de Phytoseiidae augmentait lorsque ceux-ci pouvaient compléter leur alimentation par le pollen aérien retenu sur les trichomes (excroissances microscopiques) des feuilles de *Citrus*.

Enfin, parmi les espèces retrouvées, à la fois dans l'enherbement inter-rang et dans le feuillage, deux espèces seraient particulièrement intéressantes dans le cadre de la lutte biologique contre les acariens phytophages. Il s'agit d'*A. tamatavensis* qui a été observé se nourrissant de *Polyphagotarsonemus latus*, et de *T. (Anthoseius) moraesii* qui est probablement un prédateur facultatif des acariens Eriophyidae, famille à laquelle *Phyllocoptruta oleivora* appartient (Zemek, 2005). Rappelons que *Polyphagotarsonemus latus* et *Phyllocoptruta oleivora* sont les acariens ravageurs les plus problématiques en vergers d'agrumes (Gellatley, 2003).

Conclusions et perspectives

Une lutte biologique, par gestion et conservation d'un couvert végétal, en verger d'agrumes, intégrant l'utilisation des Phytoseiidae naturellement présents, est donc envisageable pour réguler les effectifs des populations d'acariens ravageurs.

Les hypothèses suivantes avaient été émises :

- (1) Les Phytoseiidae se localisent dans les deux compartiments 'enherbement ' et '*Citrus*'
- (2) Leur abondance et leur diversité sont supérieures dans un milieu peu perturbé par rapport à un milieu fortement instable

Ces deux hypothèses ont été validées.

A l'issue de cette étude et au vu des résultats obtenus, il est conseillé de maintenir un enherbement dans les inter-rangs du verger, de préférence une légumineuse pérenne telle que le *Neonotonia wightii*, afin de maintenir une population abondante et stable dans le temps. La gestion du *Neonotonia* pourra être adaptée techniquement afin de faciliter le transfert des Phytoseiidae depuis l'enherbement vers la frondaison.

L'agrumiculteur qui a eu l'occasion de tester cette plante de service reconnaît sa facilité d'entretien. Toutefois, il déplore la difficulté de circulation, à l'intérieur de la parcelle, et le danger qu'il y a, pour ses ouvriers chargés de caisses d'agrumes, à ne pas voir les inégalités du sol et les pierres, sur des pentes aussi fortes. Malgré cela, trois autres agrumiculteurs souhaitent obtenir des semences pour tester la plante de service. Peut-être serait-il envisageable, dans le but de faciliter la circulation des ouvriers, d'aménager les parcelles d'agrumes, en créant des pistes, formées de treilles disposées et fixées au sol?

Le CIRAD, en 2005, a également mis en évidence, le coût important de l'installation de la plante de service (coût de la main d'œuvre pour la préparation manuelle du lit de semis et le semis lui même). Toutefois, l'économie d'herbicide et de carburant, sur plusieurs années permet de rentabiliser rapidement cet investissement initial. D'autant plus qu'il semblerait que le *Neonotonia* soit capable de se ressemer seul avec succès (observation faite en 2009 en station). L'enherbement des vergers pourrait même devenir indispensable, si le prix des herbicides venait à augmenter ou si la législation en vigueur, concernant les doses de Glyphosate autorisées à l'hectare, se durcissait. Avec la pratique actuelle de désherbage chimique, la quantité appliquée à l'année est déjà quatre à cinq fois supérieure à la quantité autorisée.

Concernant l'étude des Phytoseiidae, il conviendrait d'améliorer le plan d'expérimentation afin de pouvoir tirer une information plus pertinente de ce type d'essai multi-local. Plusieurs pistes ont été envisagées, dans l'optique d'une poursuite d'étude avec un temps imparti plus long:

-étendre l'expérimentation à davantage de vergers, réaliser une typologie des écologies des vergers,

-valoriser plutôt qu'éliminer les sites présentant un peuplement particulier,

-interpréter ces variations à l'aide d'un diagnostic agronomique et écologique.

Compte-tenu de manque d'information sur le sujet, il serait intéressant de considérer les liens spécifiques existant entre Phytoseiidae et acariens ravageurs, par des observations in-situ sur colonies. Une connaissance plus détaillée des interactions Phytoseiidae/plante hôte pourrait être acquise par des prélèvements mono-spécifiques de végétation suivis de l'identification des espèces de Phytoseiidae qu'elle contient.

Enfin, il est en projet d'étendre cette étude à d'autres cultures fruitières pérennes, notamment les manguiers, sur l'île de la Réunion.

Liste bibliographique

- Allen J.C., 1979. The effect of citrus rust mite damage on fruit drop in three citrus varieties. Proc. Fla. State Hort. Soc., Vol. 92, pp.:46-48.
- Auger P., Raworth D.A., Fauvel G., Tixier M.S., Kreiter S., Fretey E., 1997. Dispersion ambulatoire de *Neoseiulus californicus*: conséquences possibles sur la gestion des populations. ANPP-Quatrième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture. Montpellier, 6-7-8 janvier 1997
- Barret D., Kreiter S., 1992. Rôles des relations morphométriques dans la coopération entre certaines plantes et des acariens prédateurs phytoseiidae (Acari). Bull. Soc. Ecophysiol., Tome XVII, 2, 1992
- Boller E.F., 1984. Eine einfache Ausschwemm-Methode zur schnellen Erfassung von Raubmilben, Thrips und anderen Kleinarthropoden im Weinbau. Schweiz Zeitschrift für Obst- und Weinbau, N° 120, 16-17.
- Childers CC, Rogers ME, McCoy CW, Nigg HN and Stansly, PA, 2007. Florida citrus pest management guide: rust mites, spider mites and other phytophagous mites University of Florida IFAS extension.
- Collier, KFS, Lima de JOG, Albuquerque G.S., 2004. Predacious mites in Papaya (*Carica papaya* L.) orchards: in search of a biological control agent of phytophagous mite pests. Neotrop. Entomol., Vol n°33(6), pp. 799-803.
- Croft B.A., Blackwood J.S., McMurtry J.A., 2004. Classifying life-style types of phytoseiid mites: diagnostic traits. Experimental and Applied Acarology, Vol.33 (2004), pp. 247–260
- Damas O., 2007. Prospection de plantes de couverture en vergers. Fiches de synthèse bibliographique d'essences végétales potentielles. Cirad
- Fan Y., Pettitt F.L., 1994. Biological control of broad mite, *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) by *Neoseiulus barkeri* Hughes on Pepper. Biological control, Vol. n°4 (1994), pp.390-395.
- Fasulo T., 2000. Broad Mite, *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Arachnida: Acari: Tarsonemidae). Florida Citrus Pest Management Guide 2008. [En ligne] Disponible sur : <http://creatures.ifas.ufl.edu>.
- Georghiou G.P., 1972. The evolution of resistance to pesticides. Annual review of ecology and systematics, Vol.3, pp.133-168
- Grafton-Cardwell E, Ouyang Y., Bugg R.L., 1999. Leguminous cover crops to enhance population development of *Euseius tularensis* in Citrus. Biological control, Vol. n°16 (1999), pp.73-80
- Gurr G., Wratten S.D., 2002. Biological control: Measures of success. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, p.444

Horton D.R., Broers D.A., Lewis R.R., Granatstein D., Zack R.S., Unruh T.R., Moldenke A.R., Brown J.J., 2002. Effects of mowing frequency on densities of natural enemies in three Pacific Northwest pear orchards. *Entomologia Experimentalis et Applicata* Vol.106 (2003), pp. 135-145

Kreiter S., Tixier M.S., Auger P., Strafile D., Barret D., 1999. Importance de la pilosité et des domaties des feuilles des plantes sur les Phytoseiidae (Acari). Compte-rendu de la 5^e conférence internationale sur les ravageurs en agriculture. Montpellier, AgroM, 7-8-9 décembre 1999. *Annales ANPP* (1999), 3, 699-712

Kreiter S., Tixier M.S., Bourgeois T., 2002. Do generalist phytoseiid mites (Gamasida: Phytoseiidae) have interactions with their host plants. *Insec Sci. Applic.* Vol. n°1, pp.35-50
Kumral N. A., Kovanci B., 2007. The diversity and abundance of mites in agrochemical-free and conventional deciduous fruit orchards of Bursa, Turkey. *Türk. entomol. derg.*, Vol. 31, N°2, pp. 83-95

Lavigne C., Pancarte C., Bertin Y., Ducelier D., 2005. In : CFCS, Guadeloupe. *41st Annual Meeting of the Caribbean Food Crop Society = 41ème Congrès annuel de la Société Caraïbe pour les Plantes Alimentaires, 10-16 juillet 2005, Gosier*. s.l. : s.n., 1 p.. Annual Meeting of the Caribbean Food Crops Society (CFCS). 41, 2005-07-10/2005-07-16, Gosier, Guadeloupe.

Mailloux, J, Lebellec, F, Kreiter, S et Tixier, MS (2009). Influence of cover management on density and diversity of phytoseiid mites in Guadeloupean citrus orchards.

McMurtry J.A, Croft B.A., 1997. Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annu. Rev. Entomol.* 1997. Vol n°42, pp.291-321

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales. Fiche agricole de 1981 à 2005 In Agreste Guadeloupe, n°14 (Juin 2008)

Omoto C., Dennehy T. J., McCoy C. W., Crane S. E., Long, J. W, 1995. Management of Citrus Rust Mite (Acari: Eriophyidae) Resistance to Dicofol in Florida Citrus. *Journal of Economic Entomology*, Vol. 88, N° 5, pp. 1120-1128(9)

PDR GUADELOUPE 2007-2013 : états des lieux et stratégie. **[En ligne]**. Disponible sur <http://www.cr-guadeloupe.fr/upload/documents/PDRFEADER.pdf>. Consulté le 26/02/09

Pereira N., Ferreira M., Sousa M.E., Franco J.C., 2006. Mites, lemon trees and ground cover interactions in Mafra region. *Integrated Control in Citrus Fruit Crops. IOBC wprs bulletin*, Vol. 29, N°3 (2006), pp. 143-150

Prokopy R. J., 2002. Two decades of bottom-up, ecologically based pest management in a small commercial apple orchard in Massachusetts. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 94 (2003), pp. 299–309 **[En ligne]**. Disponible sur <http://www.sciencedirect.com>. Consulté le 09/03/09

Quilici S., Vincenot D., Franck A., 2003. Les auxiliaires des cultures fruitières à l'île de La Réunion. Editions CIRAD-Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

Ramos M., Rodriguez N., 1997. Acaros fitoseidos Phytoseiidae en el cultivo de la papa: descripcion de una nueva especie. Revista de Proteccion Vegetal, Cuba, Vol. 12(2), pp109–112.

Saenz-de-Cabezón Irigaray F. J., Zalom F.G., Thompson P.B, 2006. Residual toxicity of acaricides to *Galendromus occidentalis* and Phytoseiulus permisilis reproductive potential. Biological control, Vol. 40, pp.153-159

Simon S., Sauphanor B., Defrance H., Lauri P.E., 2009. Manipulation des habitats du verger biologique et de son environnement pour le contrôle des bio-agresseurs: des éléments pour la modulation des relations arbre-ravageur-auxiliaire. Innovations Agronomiques, Vol.4 (2009), pp.125-134 [En ligne]. Disponible sur <http://orgprints.org>. Consulté le 09/03/09

Solvar F., 2007. Etude de la gestion de l'enherbement en verger par l'usage d'une plante de couverture : *Macropodium atropurpureum*. Rapport de stage pour l'obtention de la licence professionnelle « Conseil en Développement Agricole » Tworowski et Welker (1996)

Tixier M.S., Kreiter S., Croft B.A., Auger P., 2002. Colonization of vineyards by *Kampimodromus aberrans* (Oudemans) (Acari: Phytoseiidae): dispersal from surrounding plants as indicated by random amplified polymorphism DNA typing. Agricultural and Forest Entomology, Vol. 4 (4), pp. 255-264

Van Rijn P. C.J., Tanigoshi L.K., 1999. Pollen as food for the predatory mites *Iphiseius degenerans* and *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae): dietary range and life history. Experimental and Applied Acarology, Vol. 23, pp. 785–802.

Villanueva R.T ; Childers C.C, 2004 . Phytoseiidae increase with pollen deposition on citrus leaves. Florida entomologist , Vol. 87

Villanueva R.T., Gagné R., Childers C.C; 2006. Two species of cecidomyiidae predacious on citrus rust mite, Phyllocoptruta oleivora, on Florida Citrus. Florida entomologist, Vol. 89

Zemek R., 2005. The effect of powdery mildew on the number of prey consumed by Typhlodromus pyri (Acari: Phytoseiidae) Journal of Applied Entomology, Vol.129 , pp. 211 - 216

Pages web

<http://atlas.parcsnationaux.org/guadeloupe/>

Effets non intentionnels sur les organismes utiles/ par famille/ Phytoseiidae Catalogue des usages actuels/ Agrumes

<http://e-phy.agriculture.gouv.fr> [Dernière mise à jour en 2009]

<http://grepp.guadeloupe.ecologie.gouv.fr/html/plan.htm> [Dernière mise à jour en juillet 2008]

www.inra.fr/hyppz/glossair.htm [Page mise à jour le 30 juin 1998]

<http://www.invs.sante.fr/surveillance/chlordecone/index.htm> [Dernière Mise à jour le 12 juin 2008]

Photo de domatia ouverte

<http://www.sbs.auckland.ac.nz/uoa/science/about/departments/sbs/newzealandplants/seed-plants-flowering/north-&-south-islands/rubiaceae-coffee-family.cfm> Consulté le 17/03/09

Photo de trichomes

<http://enthomology.wisc.edu/~holeski>

Photo de *Iphiseiodes zuluagai* (Acarina : Phytoseiidae) pénétrant dans un domatium d'une feuille de *Coffea arabica*

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-566X2004000100011

Photo de pollen sur trichome

<http://extension.entm.purdue.edu/pestcrop/2007/issue16/index.html>

Lexique

Adventice : Plante herbacée ou ligneuse indésirable à l'endroit où elle se trouve.

Auxiliaires : Organisme qui constitue un ennemi naturel d'un ravageur de culture, en tant que parasite ou prédateur, et qui contribue ainsi à la régulation des populations de nuisibles aux cultures (<http://www.observatoire-environnement.org/>).

Carême : Saison sèche qui a lieu de Novembre à Mai

Chlordécone : Pesticide organochloré utilisé, entre 1981 et 1993, pour le traitement des bananiers contre le charançon des agrumes. Il appartient à la même famille que le DDT, le lindane ou le mirex.

Détourage : Action de supprimer la végétation au pied d'un arbre, sous la frondaison.

Diversité : variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie : cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes. (article 2 de la Convention sur la diversité biologique, adoptée le 22 mai 1992 et ouverte à la signature des Etats lors de la Conférence de Rio le 5 juin 1992, entrée en vigueur le 29 décembre 1993)

Domatie : cavités plus ou moins ouvertes souvent situées sur la face inférieure des feuilles

Enherbement naturel maîtrisé (méthode de) : méthode qui consiste à laisser s'implanter un enherbement spontané et à le maintenir à un niveau non concurrentiel pour la culture, en maîtrisant son développement

Enherbement naturel maîtrisé (méthode de) : méthode qui consiste à cultiver en association avec la culture de rente, une plante couvrant le sol et exerçant un pouvoir suppressif sur les adventices

Généraliste : Se dit d'un prédateur capable de s'alimenter sur plusieurs types de proies, quand un type de proies disparaît il se tourne vers d'autres.

Intégrée (lutte) : méthode qui consiste à combiner plusieurs techniques, pas seulement chimiques, afin d'optimiser le contrôle de toutes les classes de ravageurs (insectes, pathogènes, adventices, vertébrés), avec le souci de limiter autant que possible la lutte chimique, tout en assurant la viabilité économique de l'exploitation (Prokopy, 2002).

Invasif (lâcher) : Action qui consiste à lâcher des organismes qui ont été multipliés en grand nombre dans des biofabriques et commercialisés. Les lâchers sont effectués comme des traitements chimiques, plusieurs fois et à forte dose.

Conservation : Méthode qui a pour but de conserver les auxiliaires des cultures dans les meilleures conditions. L'action de protection peut se situer dans des zones non cultivées (mise en place de haies servant de refuges, ...) ou dans des zones cultivées (plantation de végétaux nectarifères permettant aux parasitoïdes adultes de se nourrir, ...)

Nuisibilité (seuil de) : Abondance d'un ravageur pour laquelle les pertes économiques inhérentes à la dégradation de la culture sont égales au coût du traitement phytosanitaire.

Phytophage : Se dit d'un organisme qui se nourrit à partir de végétaux

Phytoseiidae : Famille d'acariens mésostigmates, prédateurs pour la plupart, se nourrissant de Thrips et d'acariens appartenant à diverses familles

Polyphagie : Capacité d'un organisme à s'alimenter sur une grande variété de nourritures

Raisonnée (lutte) : Lutte dans laquelle les moyens (essentiellement chimiques) de destruction des ravageurs ne sont employés qu'à bon escient, en cas de risque de dépassement du seuil de nuisibilité. Elle s'oppose à la lutte chimique systématique où les interventions sont déclenchées en fonction d'un calendrier. Elle préfigure la lutte intégrée

Richesse spécifique : Une mesure de la diversité, elle considère le nombre d'espèces différentes

Spécialiste : Se dit d'un prédateur qui se nourrit exclusivement d'un type de proies.

Sélectif : Se dit d'un prédateur ayant une préférence pour un type de proies, même s'il est capable de s'alimenter à partir d'autres types de proies

Setae : poils microscopiques dont est doté un organisme, peut avoir une fonction de protection

Trichome : fine excroissance ou appendice à la surface des feuilles

Table des annexes

Annexe I: Planning des prélèvements et des opérations d'entretien de l'enherbement	I
Annexe II: Inventaire des espèces de Phytoseiidae rencontrées et type trophique associé.....	II
Annexe III : Listes des espèces végétales rencontrées dans les inter-rangs	III
Annexe IV : ITK du verger 1	IV
Annexe V: Plan du verger 1	V
Annexe VI: ITK du verger 2	VI
Annexe VII: Plan du verger 2	VII
Annexe VIII: Plan du verger 3	VIII
Annexe IX: Plan et photos du verger 3	IX
Annexe X: Données météo des stations VXH de l'unité Hortsys placées dans le verger 1	X

Annexe I: Planning des prélèvements et des opérations d'entretien de l'enherbement**VERGER 1**

20/03	Fauche de la modalité ENP Glyphosate sur la modalité ENP
23/03	Prélèvement 1
20/04	Prélèvement 2
11/05	Prélèvement 3

VERGER 2

31/01	Fauche de la modalité ENP
07/02	Glyphosate sur la modalité GLY
06/04	Prélèvement 1
14/04	Glyphosate sur la modalité GLY
21/04	Fauche de la modalité ENP
27/04	Prélèvement 2
18/05	Prélèvement 3

VERGER 3

02/02	Glyphosate sur la modalité GLY
25/03	Prélèvement 1
26/03	Glyphosate sur la modalité GLY
14/04	Prélèvement 2
04/05	Prélèvement 3

Annexe II: Inventaire des espèces de Phytoseiidae rencontrées et type trophique associé

Genre	Espèce	Descripteur	Milieu 'Enherbement'	Milieu 'Citrus'	Effectif par espèce	Effectif par type trophique	Type trophique
<i>Amblyseius</i>	<i>aeralis</i>	Muma	31	7	38	174	Généralistes
	<i>colaris</i>	Chant	2	8	10		
	<i>largoensis</i>	Muma	7	3	10		
	<i>tamatavensis</i>	Blommers	4	4	8		
<i>Typhlodromips</i>	<i>nouvelle</i>		2	2	4		
<i>Phytoseius</i>	<i>rex</i>	DeLeon	3	3	6		
	<i>woodburyi</i>	Muma et Denmark	4	4	8		
<i>Proprioseiopsis</i>	<i>mexicanus</i>	Garman	13	7	20		
	<i>cannaensis</i>	Muma	16	6	22		
<i>Iphiseiodes</i>	<i>zuluagai</i>	Denmark et Muma	13	3	16		
<i>Transeius</i>	<i>aciculus</i>	DeLeon	9	7	16		
<i>Neoseiulus</i>	<i>longispinosus</i>	Evans	10	6	16	82	Indéterminé
	<i>baraki</i>	Athias- Henriot	53	5	58		
	<i>tunus</i>	DeLeon	18	6	24		
<i>Galendromus</i>	<i>helveolus</i>	Chant	0	1	1	14	Spécialistes de la famille Tetranychidae
<i>Typhlodromina</i>	<i>subtropica</i>	Muma et Denmark	0	13	13		
<i>Phytoseiulus</i>	<i>macropilis</i>	Banks	4	4	8	8	Spécialistes du genre Tetranychus
<i>Typhlodromus. (A.)</i>	<i>moraesi</i>	Kreiter et Ueckermann	3	7	10	10	Probablement prédateurs facultatifs des Tetranychidae et Eriophyidae
<i>Euseius</i>	<i>fructicolus</i>	Gonzalez et Schuster	5	5	10	10	Préférence pour le pollen

(Zemek, 2005; McMurtry et Croft, 1997)

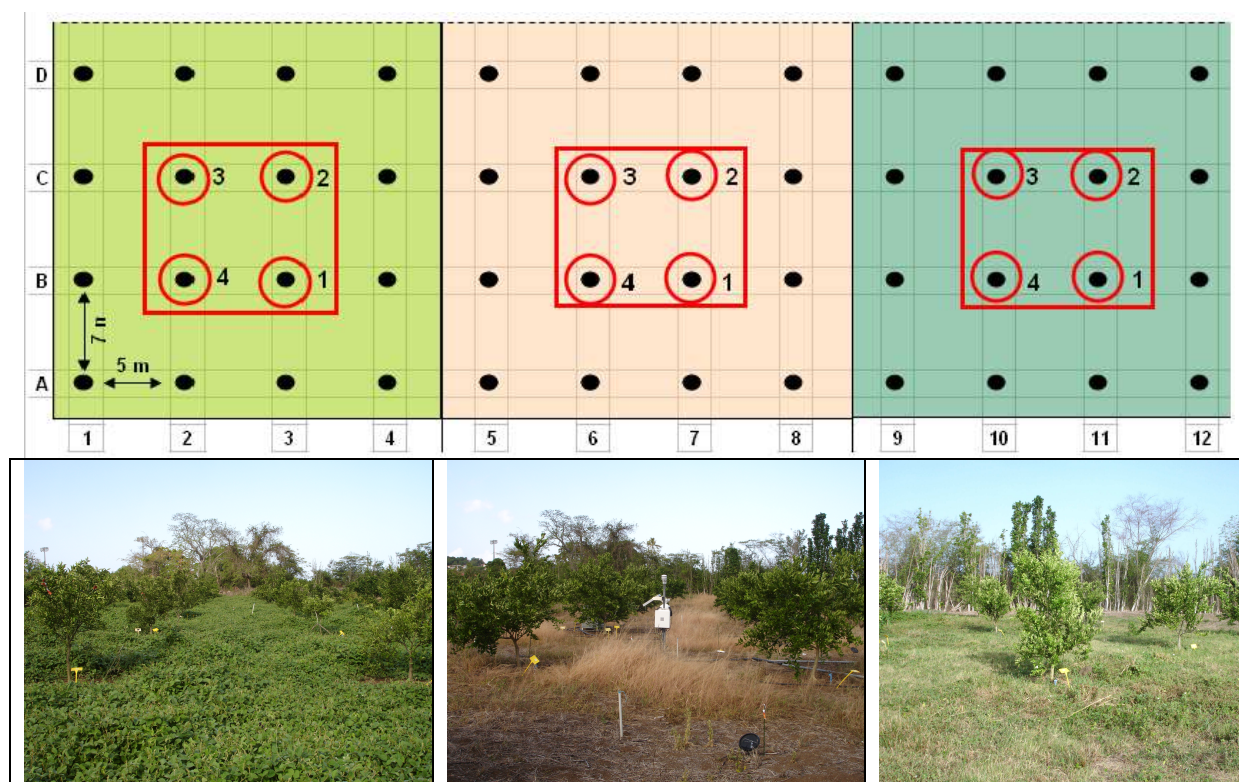
Annexe III : Listes des espèces végétales rencontrées dans les inter-rangs

Nom scientifique	Ordre	famille
<i>Achyranthes aspera</i>	Dicotylédone	Amaranthaceae
<i>Ageratum conyzoides</i>	Dicotylédone	Asteraceae
<i>Amaranthus dubius</i>	Dicotylédone	Amaranthaceae
<i>Amaranthus veridis</i>	Dicotylédone	Amaranthaceae
<i>Bidens alba</i>	Dicotylédone	Asteraceae
<i>Boerhavia coccinea</i>	Dicotylédone	Nyctaginaceae
<i>Cardamine flexuosa</i>	Dicotylédone	Brassicaceae
<i>Cardiospermum microcarpum</i>	Dicotylédone	Sapindaceae
<i>Chamaesyce hirta</i>	Dicotylédone	Euphorbiaceae
<i>Chamaesyce prostrata</i>	Dicotylédone	Euphorbiaceae
<i>Centrosema sp.</i>	Dicotylédone	Fabaceae
<i>Centrosema virginianum</i>	Dicotylédone	Fabaceae
<i>Centrosema pubescens</i>	Dicotylédone	Fabaceae
<i>Cleome ruditosperma</i>	Dicotylédone	Capparidaceae
<i>Commelina diffusa</i>	Dicotylédone	Commelinaceae
<i>Cynodon dactylon</i>	Monocotylédone	Poaceae
<i>Desmodium sp.</i>	Dicotylédone	Fabaceae
<i>Digitaria bicornis</i>	Monocotylédone	Poaceae
<i>Echinochloa colona</i>	Monocotylédone	Poaceae
<i>Emilia sp.</i>	Dicotylédone	Asteraceae
<i>Emilia fosbergii</i>	Dicotylédone	Asteraceae
<i>Eulesine indica</i>	Monocotylédone	Poaceae
<i>Ipomeoa sp.</i>	Dicotylédone	Convolvulaceae
<i>Ipomeoa obscura</i>	Dicotylédone	Convolvulaceae
<i>Lantana sp.</i>	Dicotylédone	Verbenaceae
<i>Lepidium virginicum</i>	Dicotylédone	Brassicaceae
<i>Leptochloa filiformis</i>	Monocotylédone	Poaceae
<i>Neonotonia wightii</i>	Dicotylédone	Fabaceae
<i>Paspalum fasciculatum</i>	Monocotylédone	Poaceae
<i>Paspalum paniculatum</i>	Monocotylédone	Poaceae
<i>Peperomia sp.</i>	Dicotylédone	Piperaceae
<i>Phyllanthus sp.</i>	Dicotylédone	Euphorbiaceae
<i>Portulaca oleracea</i>	Dicotylédone	Portulacaceae
<i>Pilea microphylla</i>	Dicotylédone	Urticaceae







Annexe IV : ITK du verger 1

Site	Verger 1 (plantation en 2006)	
Culture	<i>Citrus sinensis</i> cv Dancy / <i>Citrus volkameriana</i>	
Phénologie résumée	Floraison de mars/avril : récolte octobre/novembre Floraison de juillet : récolte de février/mars.	
Particularité parcelle	Parcelle d'essai	
Densité de plantation	5x7m (48 arbres parcelle d'environ 1700m ²)-Plantation le 14 juin 2006)	
Rendement estimé	Entrée en production	
Conduite culturale	Taille	Taille de formation le 01/06/07
	Irrigation	3 fois/semaine en saison sèche 1fois/semaine en saison humide
	Fertilisation	150g de Fertibanane (11-4-28) par pied 15-4-30+5MgO-20kg sur toute la parcelle
	Désherbage	0,6L de Glyphosate sur la parcelle GLY (env.8 L/ha) tous les 2 ou 3 mois
	Traitements phyto	Infestation en nématodes sur <i>Galleria</i> contre <i>Diaprepes spp.</i> Aliette (fosétyl Al. 80%)(contre <i>Phytophthora sp.</i>) appliquée au pied par arrosoir, total 600g pour toutes les modalités.
Superficie 1 µparcelle	0,0732 ha	
Modalités	LP : <i>Neonotonia wightii</i> semé en septembre 2006 après du <i>Macroptilium atropurpureum</i>	
	ENP : Semis à la volée de <i>Cynodon dactylon</i> (25kg/ha) fin juin 2006, arrêt du désherbage chimique, apparition flore spontannée	
	GLY : 0,6L de Glyphosate sur la parcelle GLY (env.10L/ha) tous les 2 ou 3 mois.	

Annexe V: Plan du verger 1



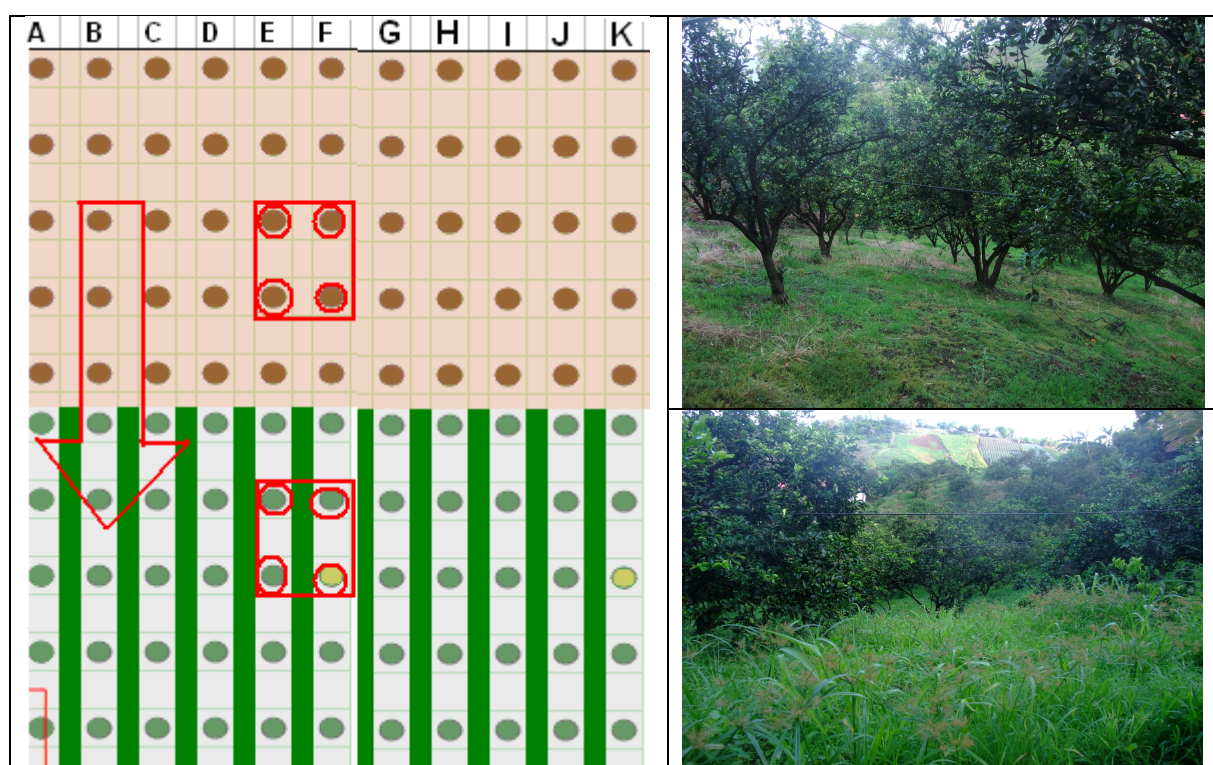
Légende :

-  **Modalité LP :** Enherbement *Neonotonia wightii* pérenne
-  **Modalité GLY :** Témoin, entretien en sol nu
-  **Modalité ENP :** Enherbement naturel fauché
-  Mandarinier var. 'Dancy'
-  Mandarinier prélevé (20 feuilles)
-  Zone de prélèvement de l'enherbement (4 cadrats 30x30cm)

Annexe VI: ITK du verger 2

Site	Verger 2 (Plantation en 1986 (23 ans))	
Culture	<i>Citrus sinensis</i> multi-variées (var. 'Washington ' en majorité)	
Phénologie résumée	Floraison de mars/avril : récolte octobre/novembre Floraison de juillet : récolte de février/mars.	
Particularité des plants	Canopée très développée, nombreuses branches basses	
Particularité parcelle	Forte pente (30%) – 0,7 ha	
Densité de plantation	5x5m - Plantation : 1986 (23 ans)	
Association culturale	Tangelos (<i>Citrus x tangelo</i>) var. 'Orlando', Citrons (<i>Citrus limonus</i>)	
Rendement estimé	15 t/an	
Conduite culturale	Taille	Taille d'entretien : entre mars et fin avril Pas de taille en 2009
	Irrigation	Irrigation par aspersion sur frondaison en période de carême (fin février à mai) : 2 fois par semaine pendant 5h (3m ³ /passage)
	Fertilisation	2 passages depuis janvier (2x200kg/ha) (20-5-16)
	Désherbage	6 Glyphosate annuels (2,8 L/ha)
	Traitements phyto	2008 : 2 traitements Pas de traitement phytosanitaire depuis Septembre 2008 combinaison Euphytane 66 (2L/100L) et soufre (500g/100L)
Modalités	Glyphosate (témoin)	Enherbement naturel fauché (Arrêt des herbicides début Décembre 2008)
Superficie 1 µparcelle	0,35 ha	

Annexe VII: Plan du verger 2



Modalité GLY : Témoin, entretien en sol nu



Modalité ENP : Enherbement naturel fauché



Oranger var. '*Washington*'



Oranger prélevé (20 feuilles)



Zone de prélèvement de l'enherbement (4 cadrats 30x30cm)

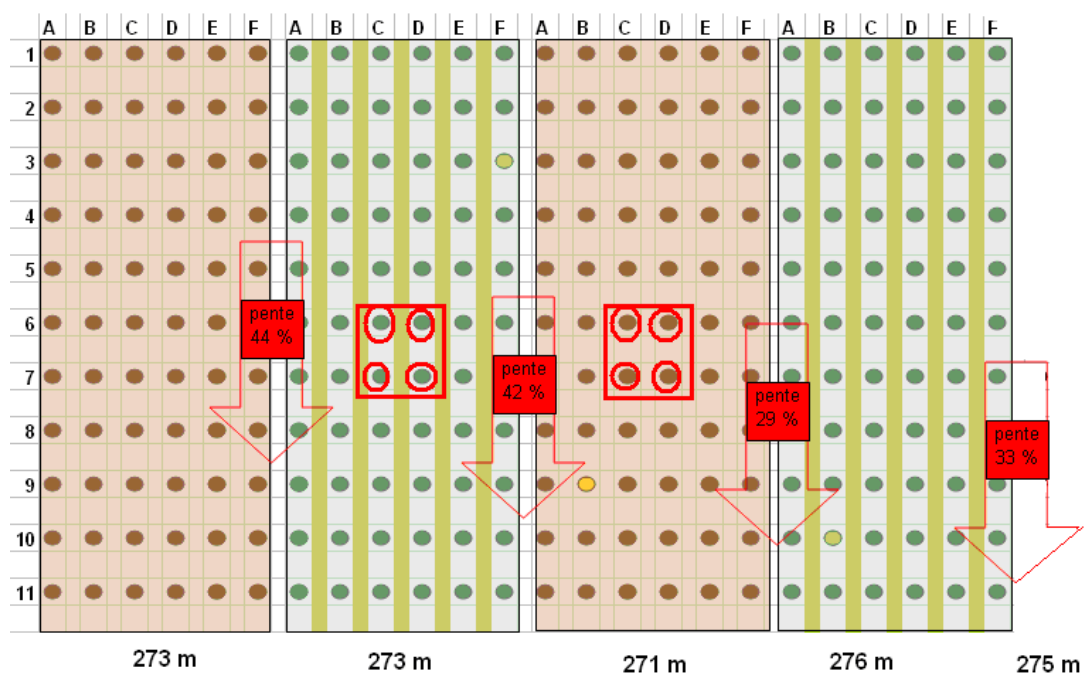


Sens de la pente

Annexe VIII: Plan du verger 3

Site	Verger 3 (Plantation en 1998 (11 ans))	
Culture	<i>Citrus reticulata</i> cv Frémont / <i>Citrus volkameriana</i>	
Phénologie résumée	Floraison de mars/avril : récolte octobre/novembre Floraison de juillet : récolte de février/mars.	
Particularité des plants	Taille de formation mal réalisée induisant de nombreuses branches basses.	
Particularité parcelle	Très forte pente, entre 30 et 50 %.	
Densité de plantation	3 x 4 m (850 plants, parcelle d'environ 1 ha) - Plantation : 2001	
Association culturale	Tomate les 2 premières années	
Rendement estimé	A renseigner	
Conduite culturale	Taille	Taille d'entretien : mars/avril
	Irrigation	Irrigation par aspersion sur frondaison en période de carême (mars à mai) : 1 fois par semaine (90 m ³ /ha)
	Fertilisation	Depuis 2008 en février, juin, août et octobre 800kg/ha de 20-5-16
	Désherbage	Désherbage : pratique actuelle de 6 herbicides par an (Glyphosate)
	Traitements phyto	Cuivre+huile minérale de pétrole après la taille, traitement(s) préventif(s) au fosetyl-al en période très humide, traitement(s) spécifique(s) déclenché(s) en fonction de la pression parasitaire et des seuils tolérés. Phytos et tarsonèmes (soufre, acaricide spécifique), cochenilles (huile minérale de pétrole, organophosphorés) et pucerons (organophosphorés).
Modalités	Glyphosate (témoin)	LP (<i>Neonotonia wightii</i>) (Implantation en 2005)
Superficie 1 µparcelle	Env. 0.07 ha	
	<u>Glyphosate</u> Désherbage systématique du sol (6 interventions par an en moyenne). Arbres plus vigoureux Pente 30 %	
	<u>Légumineuse annuelle</u> (<i>Neonotonia wightii</i>) Arbres moins vigoureux Pente 40 %	

Annexe IX: Plan et photos du verger 3



Modalité LP : Enherbement *Neonotonia wightii* pérenne



Modalité GLY : Témoin, entretien en sol nu



Mandarinier var. 'Frémont'



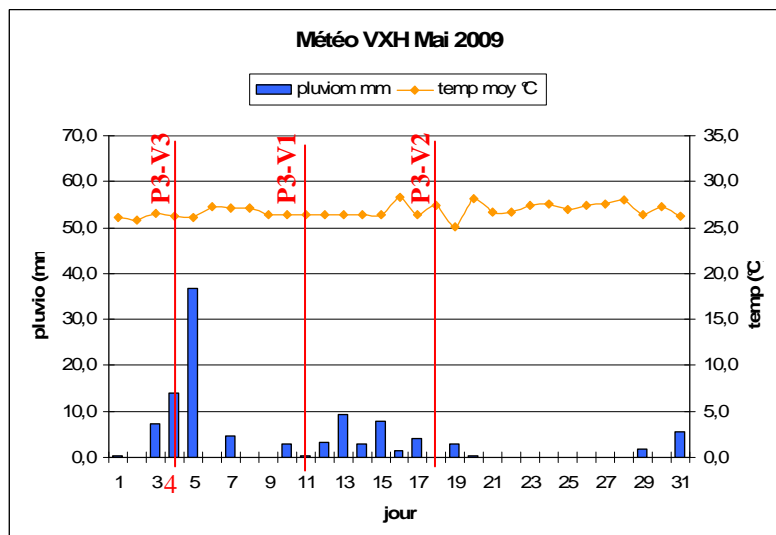
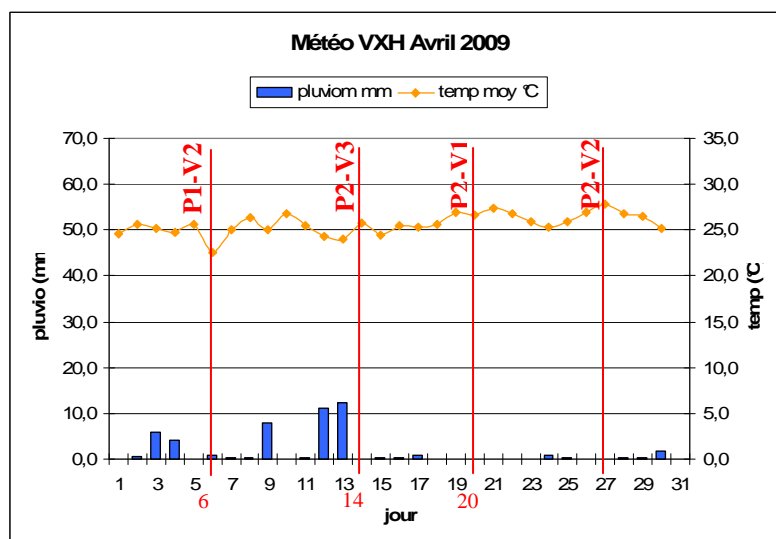
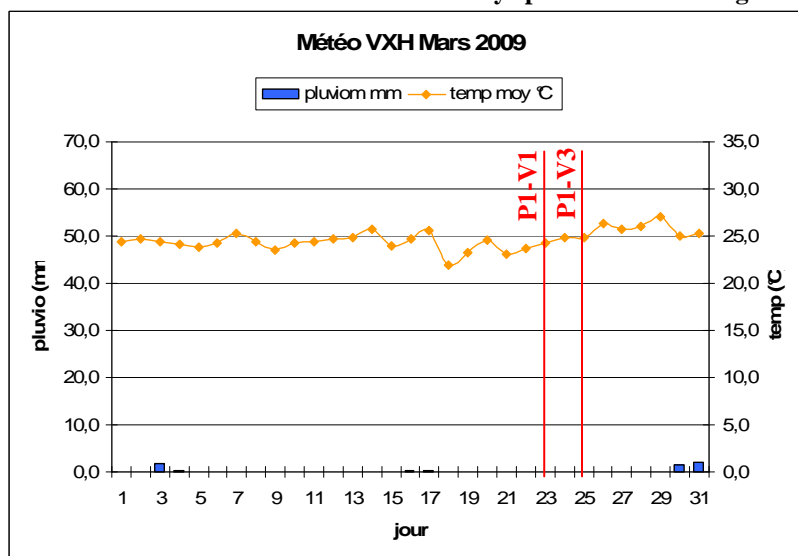
Mandarinier prélevé (20 feuilles)



Zone de prélèvement de l'enherbement inter-rang (4 cadrats 30x30cm)



Annexe X: Données météo des stations VXH de l'unité Hortsys placées dans le verger 1



NB : P+ chiffre indique le numéro du prélèvement

V+chiffre indique le verger dans lequel le prélèvement a été effectué